

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MARCEL FISCHER UEMURA

**Estudo e Proposta de Equipamento para
Recepção de Áudio em Áreas sem
Infra-Estrutura**

Trabalho de Diplomação.

Prof. Dr. João César Netto
Orientador

Porto Alegre, novembro de 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do ECP: Prof. Gilson Inácio Wirth

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- ao professor Netto, por ter aceitado ser orientador no meu projeto e estar disponível mesmo para realizar reuniões à distância
- a minha família, que me apoiou nesses momentos finais de grande dificuldade, sejam financeiros, sejam simplesmente para dar palavras de incentivo, principalmente, dando liberdade para minhas escolhas e acreditando em minha capacidade
- a Fabiano Isoton, engenheiro, colega, “amigão”, que me deu todo o suporte pra esse trabalho, gastando suas poucas horas de descanso pra auxiliar, sempre de boa vontade
- a todos meus amigos e colegas, por rirem e chorarem comigo em todas as experiências que tive, durante esse período suado e marcante que é a Engenharia

Enfim, todos os que passaram pela minha vida fazem parte de alguma forma desse trabalho. Agradeço a todas as alegrias, dificuldades, problemas, decepções e desafios – e dos muitos que ainda virão – que me prepararam para a pessoa que sou hoje.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | 7 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 9 |
| LISTA DE TABELAS | 10 |
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Visão Geral | 13 |
| 1.2 Cenário e Viabilidade do Projeto..... | 13 |
| 1.3 Projeto Proposto | 14 |
| 1.4 Metas e Resultados Esperados | 15 |
| 1.5 Motivação..... | 16 |
| 2 REVISÃO CONCEITUAL E ANÁLISE DE MERCADO | 17 |
| 2.1 Estudo de Formas de Comunicação..... | 17 |
| 2.2 Comunicação via Satélite | 17 |
| 2.3 Empresas e Produtos da Área | 21 |
| 2.3.1 Sistemas de Rádio via Satélite..... | 21 |
| 2.3.2 Sistemas de Televisão Via Satélite | 22 |
| 2.4 Padrões e Codificações | 23 |
| 2.4.1 DVB-S..... | 23 |
| 2.4.2 MPEG-2 | 24 |
| 2.5 Estudo de Componentes Utilizados no Mercado | 26 |
| 2.5.1 Sintonizadores e Demoduladores | 27 |
| 2.5.2 Processador de STB | 28 |
| 2.6 Dados Estatísticos | 28 |
| 3 ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO..... | 29 |
| 3.1 Decisão de Projeto | 29 |
| 3.2 Diagrama de Blocos | 30 |
| 3.3 Fases Necessárias da Implementação..... | 30 |
| 3.3.1 Recepção e Demodulação de Sinal..... | 31 |
| 3.3.2 Filtragem e Seleção de Canal/Stream | 32 |
| 3.3.3 Decodificação de Áudio e Conversão Analógica | 33 |
| 3.4 Opções de Implementação..... | 33 |
| 3.4.1 Considerações Iniciais..... | 33 |
| 3.4.2 Tuner, Chip de STB e DAC avulsos..... | 34 |
| 3.4.3 Placas Pré-Produzidas para Aplicações Específicas | 34 |
| 3.4.4 Implementação Customizada c/ Microcontrolador e MP1/2/3 Decoder. | 34 |
| 3.5 Plano de Desenvolvimento..... | 35 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4 | IMPLEMENTAÇÃO | 37 |
| 4.1 | Hardware..... | 37 |
| 4.1.1 | Componentes Escolhidos | 38 |
| 4.1.2 | Considerações Elétricas | 39 |
| 4.2 | Software | 41 |
| 4.2.1 | Rotinas de Debug e Software para Monitoramento..... | 41 |
| 4.2.2 | Protocolos para Comunicação | 41 |
| 4.2.3 | Microcontrolador PIC18F4550 | 42 |
| 4.2.4 | Tuner - SU1278 | 46 |
| 4.2.5 | Decodificador MP1/2/3 – VS1011 | 47 |
| 4.2.6 | Bufferização e Streaming | 48 |
| 5 | TESTES E AVALIAÇÕES | 51 |
| 5.1 | Fontes de Dados para Teste..... | 51 |
| 5.2 | Ferramentas de Avaliação..... | 52 |
| 5.3 | Temporização | 52 |
| 5.3.1 | Comunicação do Satélite | 52 |
| 5.3.2 | Tempos de Processamento | 53 |
| 5.3.3 | Decodificação de Áudio | 56 |
| 5.3.4 | Reprodução de Áudio | 57 |
| 5.4 | Análise Geral dos Tempos..... | 58 |
| 5.4.1 | Análise de Pacotes | 58 |
| 5.4.2 | Análise por Bytes..... | 60 |
| 5.5 | Estações de Satélite Suportadas | 61 |
| 5.6 | Avaliação Final e Propostas | 62 |
| 6 | CONCLUSÃO | 63 |
| | BIBLIOGRAFIA | 65 |
| | APÊNDICE A | 67 |
| | APÊNDICE B | 69 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|---|
| GEO | Órbita Geo-Estacionária |
| MEO | Órbita Média |
| LEO | Órbita Curta |
| DVB | Digital Video Broadcast |
| MPEG | Movie Picture Experts Group |
| WHO | World Health Organization |
| DARS | Digital Audio Radio Services |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| TDM | Time Division Multiplexer |
| QPSK | Quaternary Phase Shifting Key |
| AAC | Advanced Audio Coding |
| TS | Transport Stream |
| PS | Program Stream |
| PES | Packetized Elementary Stream |
| PID | Packet ID |
| SID | Stream ID |
| PSI | Program Specific Information |
| PAT | Program Association Table |
| PMT | Program Map Table |
| NIT | Network Information Table |
| CAT | Conditional Access Table |
| STB | Set-Top Box |
| LNB | Low Noise Block |
| FEC | Forward Error Correction |
| CI | Circuito Integrado |
| SDTV | Standard Definition Television |
| HDTV | High Definition Television |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |

| | |
|------------------|---|
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| SR | Symbol Rate |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| I ² C | Inter-Integrated Circuit |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2-1: Aplicações para satélite..... | 18 |
| Figura 2-2: Exemplo de órbita Geo-Estacionária | 19 |
| Figura 2-3: Representação dos satélites IRIDIUM..... | 20 |
| Figura 2-4: Representação de codificação QPSK..... | 23 |
| Figura 2-5: Diagrama de Blocos Funcional de um sistema padrão DVB | 24 |
| Figura 2-6: Informação de Header do TS de MPEG | 25 |
| Figura 2-7: Estrutura de PES..... | 25 |
| Figura 2-8 Exemplo de Estrutura dos pacotes PSI e fluxo do TS | 26 |
| Figura 2-9 Exemplo de Diagrama de Blocos de um STB..... | 27 |
| Figura 3-1: Diagrama de blocos básico do projeto..... | 30 |
| Figura 4-1: Esquemático do Circuito e Protocolos de Comunicação | 37 |
| Figura 4-2: Pinagens entre os Componentes | 39 |
| Figura 4-3: Sugestão de ligação do regulador LP3985 | 40 |
| Figura 4-4: Circuito de conversão de tensão utilizado nas portas | 41 |
| Figura 4-5: Fluxograma da Demultiplexação do MPEG-TS..... | 44 |
| Figura 4-6: Streaming: Implementação de Buffer e Temporização | 49 |
| Figura 5-1: Visão por Temporização de Pacote | 58 |
| Figura 5-2: Distribuição de Pacotes de TS na estação 11871V - Estrela do Sul..... | 59 |
| Figura 5-3: Visão por Temporização em Fases de Demultiplexação | 60 |
| Figura 5-4: Configurações de Estações de Satélite suportadas pelo Projeto..... | 61 |
| Figura 5-5: Proposta de Solução para Aspectos de Temporização..... | 62 |
| Figura A-1: Modelo de Regulador de Tensão com Zener..... | 67 |
| Figura B-1 (esquerda): Modelo de Referência do TL431 | 69 |
| Figura B-2 (direita): Modelo Elétrico para ajuste de Tensão | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2-1: Características das órbitas de satélite | 20 |
| Tabela 2-2: Valores convencionais de Stream IDs para os PES | 25 |
| Tabela 2-3: Comparação dos padrões de Transmissão comuns dos satélites atuais..... | 28 |
| Tabela 3-1: Tipos de Banda X Total Estações obtidos da Lyngsat | 31 |
| Tabela 3-2: Tipos de Banda X Total Estações obtidos da BrasilsatDigital | 31 |
| Tabela 3-3: Configuração dos Canais de TV e Rádio da Sessão Câmara..... | 32 |
| Tabela 3-4: Parâmetros configurados automaticamente pelo CI..... | 33 |
| Tabela 5-1: Satélites Utilizados | 51 |
| Tabela 5-2: Estações de Satélite Gravadas..... | 51 |
| Tabela 5-3: Taxas de Transmissão Mínima e Máxima de Estações..... | 53 |
| Tabela 5-4: Número de Instruções Assembly na Demultiplexação..... | 54 |
| Tabela 5-5: Tempo de Reprodução de Som por Pacote TS de Áudio | 57 |

RESUMO

Quando localizadas em regiões sem infra-estrutura e afastadas de grandes centros urbanos, a comunicação pode ser uma grande aliada para diminuir os problemas decorrentes desta falta de acesso a itens básicos das comunidades.

Através de estudos de tecnologias que existem no mercado, a idéia deste projeto visa estudar e propor um protótipo de rádio via satélite, de forma a se tornar um artigo popular e acessível a todas as regiões que o necessitam.

O objetivo final desse trabalho visa assim oferecer uma solução tecnológica alternativa para trazer a *Informação* a esta população que, da mesma, hoje se encontra privada, gerando mais oportunidades para o desenvolvimento e melhoria do bem-estar das pessoas.

Palavras-Chave: satélite, rádio via satélite, DVB-S, set top box, transmissão de áudio

ABSTRACT

When being located in areas without infra-structure or places far away from developed urban centers, communication can be a great ally to solve problems arising from the lack of access to primary needs of the communities.

Through the research of technologies used nowadays, the idea of the project is to study and propose a satellite radio prototype, in order to become a popular item and, most of all, accessible to all the needed areas.

The final goal of this work aims to bring an alternative technological solution to deliver *Information* to this population, which are currently deprived from it, creating more opportunities to development and improvement of welfare of the people.

Keywords: satellite, satellite radio, DVB-S, set top box, audio transmission

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção, será abordada a visão geral do projeto, abrangendo o propósito do trabalho, sua razão e aplicação. Após, será tratado o porquê da necessidade de um maior estudo e foco nessa área, situando os cenários existentes atuais. Por fim, uma descrição dos passos e procedimentos que se pretende realizar no projeto, concluindo-se com a motivação do autor.

1.1 Visão Geral

O objetivo deste trabalho de conclusão visa propor, através de estudos de tecnologias e equipamentos existentes, um protótipo de aparelho de baixo custo que auxilie na propagação da informação a áreas de difícil acesso e sem infra-estrutura.

Sempre foi importante a idéia de que o acesso à comunicação, através de meios escritos, digitais ou falados pode implicar em conhecimento e melhoria de fatores diversos relacionados ao modo de vida e bem estar das pessoas.

Seja por falta de eletricidade, falta de antenas para comunicação ou recursos financeiros suficientes, existem ainda muitas cidades e regiões ao redor do mundo que necessitariam fortemente de um instrumento popular e acessível, que facilitasse como provedor de informação e conhecimento a estes lugares.

O dispositivo a ser proposto visa preencher este campo onde há áreas de difícil acesso, fazendo o papel de intermediador entre a população dos lugares remotos com órgãos, entidades e demais grupos, criando um canal aberto e barato para trazer conteúdo informativo a estas pessoas.

1.2 Cenário e Viabilidade do Projeto

Como já introduzido, existem alguns números e afirmações que sustentam a viabilidade deste equipamento.

Educação/Comunicação

- Até 2006, 25% da população Brasileira não possui telefone próprio.
- No Brasil, apenas 10,6% da população brasileira possui computadores em casa.

Desastres

- 225 mil pessoas morreram no Tsunami ocorrido em 2004 na Ásia, e muitos não foram notificados a tempo.

- Aproximadamente 60 mil pessoas morreram na China devido ao terremoto de Maio de 2008.

Doenças

- Somente na África do Sul, houve incidência de mais 460 mil pessoas com casos de tuberculose.
- A cada dia, 4 mil crianças morrem de doenças contraídas por água não tratada ou mal conservada.
- Em 2007, 1.5 milhões de pessoas contraíram AIDS, entre adultos e crianças.
- Em 2008, mais de 30% das crianças de menos de 5 anos morreram por malária em Gana e Gambia, na África.

Apesar dos dados não se relacionarem diretamente com o equipamento da comunicação em si, a forma solucionar estes problemas não é diferente.

Seja para prevenção das doenças, alertas de desastres ou para educação, é fato que o acesso à informação sempre trouxe benefícios e melhoras extremamente significativas para diminuir estes números. Tanto é verdade esta afirmação que, entre projetos assistenciais de sucesso, diversos programas como envio de SMS gratuito a usuários de HIV na África, ou rádio sobre Malária, estão sendo utilizados continuamente como grandes agentes de diminuição de casos.

Somente na região amazônica, compreendendo todos os países que a englobam, estima-se que há 25 milhões de pessoas vivendo neste território, em situações escassas. Não tendo infra-estrutura suficiente para suas necessidades básicas, isto faz com que as pessoas estejam mais sujeitas a doenças, dificuldade para atendimentos médicos e mortalidade mais prematura.

Na África, quando realizadas campanhas de atendimento de saúde para regiões afastadas, muitos vilarejos também deixam de ser atendidos porque não foram notificados a tempo. As autoridades médicas reivindicam já há algum tempo uma forma de inteirar outras comunidades ao redor para comparecerem às campanhas e serem propriamente tratadas e monitoradas.

A necessidade de investimentos em infra-estrutura e a correspondente falta de recursos financeiros suficientes para propiciar de forma rápida uma mudança em um melhor bem-estar a essas regiões criam uma oportunidade para o estudo e criação de uma solução barata e abrangente para servir de suporte a essas comunidades.

1.3 Projeto Proposto

Realizar estudo e propor um modelo de aparelho eletrônico genérico, com tentativa de alcançar baixo custo e um processo de produção simples, de modo a viabilizar às regiões afastadas, incluindo as áreas que não possuem cobertura de antenas terrestres, provendo informação à população no dia-a-dia com programações distribuídas por centrais espalhadas.

O dispositivo deverá apresentar funções parecidas como um rádio comum, porém com forma de recepção de dados diferente a ser estudada e escolhida no trabalho de conclusão.

O aparelho e hardware serão estudados também no trabalho, porém já estimado com uma funcionalidade parecida a um Set Top Box, possuindo o recurso de recepção de informação e disponibilização por meios comuns a serem pesquisados de acordo com a necessidade áudio e voz.

Entre os itens a serem ponderados, se encontram:

1. Comunicação por Satélite:
 - a. Escolha de serviços a se utilizar
 - b. Escolha de operadoras
 - c. Escolha de satélites com base em órbitas e bandas
2. Codificação:
 - a. Sem codificação
 - b. Codificados: MPEG, AC3, ou assemelhados:
3. Processamento de Sinal
 - a. Escolha de padrões de transmissão
4. Dispositivos Eletrônicos
 - a. Microprocessadores
 - b. Sistema Embarcado
 - c. Componentes com multiplexação e chaveamento de circuitos

Neste objetivo, após pesquisa e estudo das alternativas, seu foco será garantir a solução de hardware/software e modo de comunicação de dados que consiga satisfazer os pré-requisitos a baratear os dispositivos, transformando-o em aparelho alternativo para utilização por entidades nas mais diversas áreas.

1.4 Metas e Resultados Esperados

As metas a serem alcançadas neste trabalho são:

- Pesquisa e avaliação das técnicas e aparelhos utilizados para comunicação de acesso remoto satisfatórias:

Através de pesquisa e estudo extensivo, identificar a solução mais barata e acessível para comunicação, consumo de energia e capacidade de processamento do equipamento.
- Implementação e customização de aparelhos assemelhados

Customizar o dispositivo, desde características elétricas e captação de sinais, quanto a programação em si da funcionalidade esperada.
Montagem de peças e do circuito eletrônico.
- Proposta e modelagem do aparelho:

Após pesquisa e análise, propor modelagem e prototipação do equipamento, para poder ser implementado em tempo hábil e com custo baixo, a fim de validar o objetivo desse trabalho
- Validar o custo final do protótipo

Identificar ao final do trabalho, a vantagem diferencial da proposta apresentada, ressaltando melhorias e os benefícios da mesma.

1.5 Motivação

Minha motivação principal nesse trabalho origina-se de um forte interesse pessoal na área social. Principalmente no que concernem as dificuldades de vida da população carente.

As variadas áreas como educação, saneamento básico, habitação, profissionalização e saúde sempre necessitam de constante auxílio, sejam financeiros, assistenciais ou ao que se referem à criação de novas formas de abordagem para trazer melhorias.

Tendo por parte, sempre participado de ações sociais voluntárias, vi em mim capacidade para contribuir na solução destes problemas, e assim sendo decidi elaborar um projeto de conclusão que visasse a causa social.

O contato de um médico, membro da WHO – World Health Organization, levantou um problema que enfrentam atualmente nas campanhas médicas que faz em vários países na África para tratamentos de doenças e epidemias. Sendo os vilarejos afastados difíceis de ser comunicados, e muitos deixarem de ser atendidos, ele demonstrou o interesse por um rádio barato que pudesse distribuir para os vilarejos como ferramenta para comunicá-los de assuntos como campanhas médicas ou tratamento e prevenção de doenças.

Organizações como a ECHO, uma das maiores financiadoras de entidades sociais da Europa, suportam diversas dessas ações, trazendo viabilidade para a aplicação prática de diversos projetos como o proposto aqui.

Portanto, vi esta oportunidade uma forma de desafiar meus conhecimentos técnicos que obtive em Engenharia da Computação, para propor uma solução nessa área com um equipamento de utilidade prática, aliando minha experiência e educação com a melhoria de comunidades.

2 REVISÃO CONCEITUAL E ANÁLISE DE MERCADO

Aqui, uma revisão dos conceitos em torno do projeto será feita, incluindo as fontes de dados para comunicação, formas de transmissão disponíveis, aliando também às tecnologias atuais. Além disso, empresas e os produtos de mercado serão estudados brevemente, expondo-se a funcionalidade dos componentes eletrônicos utilizados.

2.1 Estudo de Formas de Comunicação

Atualmente, existem diversas formas de comunicação. Só no Brasil, o padrão SBTVD já está se popularizando e as antenas sendo modificadas para transmissão do sinal. Além disso, ainda existem as tradicionais ondas FM e AM, populares para rádios. Outras formas se encontram WI-FI, ondas largas (rádio-amador), entre outros.

Contudo, a escolha deste projeto leva em conta a transmissão de áudio principalmente a áreas sem infra-estrutura de antenas ou recursos básicos. Como proposta para o trabalho, a tecnologia deve ser independente da região geográfica e dos padrões de cada país usados. Por exemplo, a utilização da televisão digital se limitaria a cada país, já que Brasil, Estados Unidos e Europa utilizam padrões diferentes. Além disso, requerer-se-iam antenas para projeção em todas as áreas carentes. A tecnologia mais adaptada e que será estudada, principalmente pela abrangência de área transmitida e por estar disponível em todas as regiões, é a comunicação via satélite.

O satélite tem um papel tão essencial para áreas subdesenvolvidas, que a empresa GOOGLE entrou como forte financiadora do projeto O3B (“Other Three Billion”). Este projeto tem como missão prover uma rede completa ao redor da Terra de satélites especializados para disponibilizar informação e internet aos países de terceiro mundo. Essa é a forma de comunicação que eles acreditam mais viável para atingir essas regiões sem tecnologia ou padrões de transmissão terrestres.

2.2 Comunicação via Satélite

Os sistemas de satélite são utilizados mundialmente como um complemento das outras formas de comunicação existentes terrestres. Sua introdução se deu por volta dos anos 1960, e hoje é amplamente utilizado para transmissão de dados, voz e vídeo, celular, comunicação pessoal e redes privadas.

Ela faz uma parte importante junto com os outros meios de transmissão como ondas de rádio terrestres, cabo ou fibras óticas. Listando suas principais vantagens, há:

- Custo Invariável de distância: é basicamente o mesmo, independentemente da distância entre a transmissão e recebimento. Os custos de transmissões por

satélite inclusive tendem a ser mais estáveis, particularmente em comunicações internacionais ou intercontinentais em vastas distâncias.

- Custo fixo de broadcast: embora, dependendo da operadora, isso possa variar, a transmissão para um ponto de terminal terrestre é a mesma para vários pontos em sua região de atuação.
- Alta Capacidade: os links atuais de satélite suportam altas frequências, com grande largura de banda e informações. As capacidades variam de 10 a 100 Mbps para os satélites típicos de comunicação e podem prover centenas de canais de vídeo e milhares de links de voz.

Além disso, satélites são utilizados amplamente para comunicação em regiões de difícil acesso.

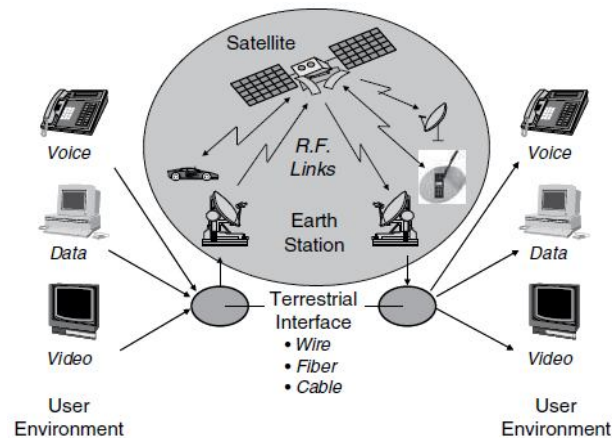


Figura 2-1: Aplicações para satélite (IPPOLITO, 2008)

Os satélites são categorizados e divididos devido a sua órbita.

2.2.1 GEO ou GSO – Geosynchronous Orbit - Geo-Estacionários

Satélites de órbita geo-estacionária se encontram a aproximadamente 36.000km de distância da linha do Equador no espaço. Sua principal característica é circular ao redor da Terra praticamente na mesma velocidade de sua rotação, trazendo o efeito, visto de um ponto qualquer da Terra, que o satélite está parado em um determinado ponto no céu.

Devido à sua grande distância, o custo de lançamento deste tipo de satélite é extremamente alto, o que limita a sua grande inserção no espaço. Por outro lado, sua área de transmissão abrange quase um terço da Terra, de tal forma que que espalhados apenas 3 satélites em uma distância de 120° graus (excluindo as áreas polares), haveria uma cobertura praticamente completa terrestre.

O atraso de propagação é de aproximadamente 260ms para uplink (transmissão de um ponto terrestre ao ponto espacial) + downlink (transmissão do satélite ao ponto terrestre), tornando aplicações como telefonia e sistemas de tempo real difíceis de serem utilizados.

Os serviços geralmente usados são para propósitos de comunicação, como rádio e redes de televisão e broadcast direto.

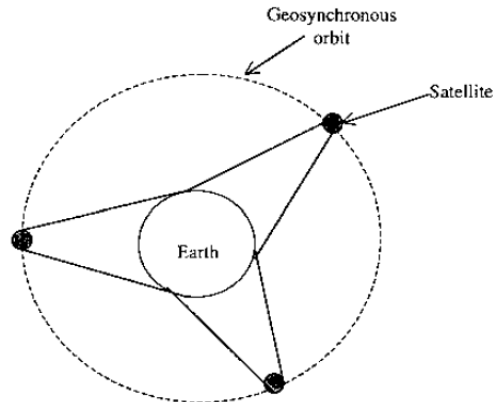


Figura 2-2: Exemplo de órbita Geo-Estacionária (Kolawole, 2002)

2.2.2 MEO – Medium Earth Orbit - Órbita Média

A distâncias variando de 1600km até 25000km, os satélites de órbita de média se situam entre os GEO e os LEO. Ou seja, eles se encontram em órbitas circulares intermediárias.

Assim sendo, seu custo de lançamento não é tão caro quanto GEO, e tem um grau de abrangência maior que LEO. O atraso de propagação de sinal é em torno de 100 ms para uma requisição (uplink + downlink).

Seu uso mais comum se dá em sistema de satélites GPS, no qual se situa aproximadamente na altitude de 20.200km. Além disso, satélites que cobrem os pólos Norte e Sul também se encontram em órbitas MEO.

2.2.3 LEO – Low Earth Orbit - Órbita curta

Os satélites de LEO, orbitam em distâncias variando de 160km a 1600km acima da superfície da Terra. Estes satélites são pequenos, mais fáceis de lançar e são utilizados para técnicas de produções em massa.

Devido a sua menor distância, a região de atuação também é mais limitada. Porém, devido a seu menor custo, é possível lançá-los em maior quantidade no espaço, gerando grandes sistemas de satélites.

O tempo aproximado de propagação de uma requisição é de 10ms, trazendo o melhor desempenho para aplicações que exigem tempo mais rápido de resposta. Os principais serviços utilizados são aplicações de telefonia móvel, áudio e voz, além de transmissão rápida de dados.

2.2.3.1 Iridium

Um dos sistemas LEO mais importantes é o Iridium. Ele é dotado de 66 satélites espalhados numa constelação de seis planos polares ao redor da Terra. Além disso,

ainda há 14 satélites adicionais que podem substituir prontamente qualquer outro defeituoso. Assim, o sistema é capaz de garantir que qualquer região do globo é coberto por pelo menos um satélite o tempo todo. Eles circulam a Terra a cada 100 minutos, podendo também se comunicar entre eles para transmissão e roteamento de dados até chegar ao destino.



Figura 2-3: Representação dos satélites IRIDIUM (Iridium, 2003)

2.2.4 Tabela Comparativa das órbitas de satélite

Abaixo segue uma tabela comparativa dos tipos e de exemplos de sistemas, além de outras informações:

Tabela 2-1: Características das órbitas de satélite

| ORBITS | LEO | MEO | HEO | GEO |
|--|--|------------------------------|--|--|
| Environment constraints | Currently low (space debris: growing concern) | Low/medium | Medium/high (Van Allen belts: 4 crossings/day) | Low |
| Orbital period | 1.5-2 h | 5-10 h | 12 h | 24 h |
| Altitude range | 500-1 500 km | 8 000-18 000 km | 40 000 km apogee (perigee below 1 000 km) | 40 000 km (i = 0) |
| Visibility duration | 15-20 mn/pass | 2-8 h/pass | 8-11 h/pass (apogee) | Permanent |
| Elevation | Rapid variations; high and low angles | Slow variations; high angles | No variations (apogee); high angles | No variation; low angles at high latitudes |
| Propagation delay | Several milliseconds | Tens of milliseconds | Hundreds of milliseconds (apogee) | > 250 milliseconds |
| Link budget (distance) | Favourable; compatible with small satellites and handheld user terminals | Less favourable | Not favourable for handheld or small terminals | Not favourable for handheld or small terminals |
| Instantaneous ground coverage (diameter at 10° elevation) | ≈ 6 000 km | ≈ 12 000-15 000 km | 16 000 km (apogee) | 16 000 km |
| Examples of systems | IRIDIUM, GLOBALSTAR, TELEDESIC, SKYBRIDGE, ORBCOMM... | ODYSSEY, INMARSAT P21... | MOLNYA, ARCHIMEDES... | INTELSAT, INTERSPOUTNIK, INMARSAT... |
| LEO : low-Earth orbits MEO : medium-Earth orbits HEO : highly-eccentric orbits GEO : geostationary orbits | | | | |

Fonte: (Union, 2002)

2.3 Empresas e Produtos da Área

Tendo em vista que o trabalho utilizará ondas de satélite para comunicação de áudio e receptores para sintetizar este sinal, aqui seguem avaliações de segmentos no ramo.

2.3.1 Sistemas de Rádio via Satélite

2.3.1.1 Transmissões Analógica e Digital Convencionais

Embora seja boa em termos de processamento de hardware, a transmissão analógica via satélite já se encontra ultrapassada. Uma das principais razões se devem: a maior utilização de banda, causando maior custo, e uma pior qualidade de áudio. Além disso, não possui bons recursos para detecção e correção automática de erros.

A grande maioria dos serviços de satélite encontrados hoje é de transmissão digital no padrão DVB com áudio em MPEG como será visto posteriormente.

2.3.1.2 Digital Audio Radio Services (DARS)

A idéia de rádio via satélite surgiu há quase 20 anos na necessidade de empresas de rádio abrangerem mais ouvintes e sua área de cobertura, além de aumentar serviços e programação. Em 1992, a FCC alocou o chamado espectro “S” de banda de largura de

aproximadamente 2.3GHZ para ser utilizado no território americano. O serviço ficou conhecido popularmente como Digital Audio Radio Services (DARS).

2.3.1.2.1 Sirius XM

A empresa resulta na fusão de duas grandes empresas de rádio via satélite nos Estados Unidos: a Sirius Satellite Radio e a XM Satellite Radio. Tendo em vista o alto custo de operação dos seus satélites, das licenças e operações, eles anunciaram a necessidade da fusão em Fevereiro de 2008.

Apesar de muitas controvérsias na questão da fusão e de poder gerar monopólio, já que eram as únicas empresas do ramo nos Estados Unidos, o Departamento de Justiça americano aprovou a fusão. Em Julho de 2008, as duas se tornaram Sirius XM, abrangendo mais de 18 milhões de assinantes, atingindo Estados Unidos e Canadá.

Eles possuem atualmente sete satélites no total, 4 da XM e 3 da Sirius, embora alguns sejam utilizados como extra para serviços básicos. Como parte de garantia plena de serviço, eles também utilizam repetidores terrestres para potencializar seu sinal. Sua compressão de áudio é MP3, e na média, a bitragem varia de 24 a 96kbps para a XM e máximo de 64kbps para Sirius. Os custos de assinaturas e planos variam da faixa de US\$ 6,99 a US\$ 16,99 por mês.

Alguns dos produtos mais populares são:

- **Portátil** - Stiletto2® (Sirius): leitura de satélite nas faixas de 2322.293 a 2330.207 MHz, com uma potência de 10 W de energia, com recursos de WI-FI 802.11.b/g (geralmente necessário já que a cobertura de satélite em ambientes fechados é mais limitado). Seu preço é de US\$ 299,00.
- **Fixo** - XPRESSEZ® (XM): sintonizador de rádio, necessita da antena separadamente. Preço: US\$ 69,99 + antena normal US\$ (19,99).

Recentemente, a empresa apareceu na mídia com problemas de dívidas, tendo em vista também do lançamento de seu último satélite e da crise financeira dos Estados Unidos.

2.3.1.3 IWorldspace

Fundada em 1990, seu principal foco foi atingir grandes áreas, principalmente em territórios de países subdesenvolvidos, cobrindo atualmente 130 países, incluindo China, toda África, Oriente médio e Europa Ocidental. Seu serviço se base em dois satélites GEO, e eles possuíam planos de incluir outro para cobrir também América.

Contudo, em outubro de 2008, a empresa pediu proteção de falência nos Estados Unidos, e atualmente a venda de equipamentos não está mais disponibilizada por eles.

2.3.2 Sistemas de Televisão Via Satélite

Os sistemas de televisão atualmente via satélite já estão bem popularizados, assim como existem diversos canais pequenos de pouca audiência funcionando no Brasil. Devido à sua alta popularidade, diversidade de satélites e à codificação de áudio a ser analisada em seguida, a análise desse sistema torna-se útil já que também pode ser utilizado no trabalho.

A encriptação varia de acordo com o canal, mas existem mais de 20 canais brasileiros abertos. O principal sistema utilizado para codificação dos dados é DVB-S e a compressão de vídeo e som utiliza o MPEG2.

Os equipamentos de Set-Top Box mais baratos buscados em sites populares especializados no Brasil são:

- **Analógicos:** a partir de R\$ 99,00
- **Digitais:** a partir de R\$ 293,00 (com apenas decodificação áudio MPEG-Camadas 1 e 2)

2.4 Padrões e Codificações

Serão abordados os padrões DVB-S e MPEG, que se encontram como mais populares hoje em dia na área de comunicação por satélite.

2.4.1 DVB-S

O Digital Video Broadcasting é a forma de transmissão de vídeo mais popular hoje em dia para transmissão via satélite. Oficialmente estipulado em 1997 pelo Instituto Europeu de Padrões de telecomunicação (ETSI), é composto de normas e características do link físico, codificação do canal, assim como a estrutura e formação de quadros, ou seja, praticamente englobando a camada física de rede.

Embora o DVB-S não tenha definido o algoritmo de codificação de vídeo, ele foi modelado de forma a compatibilizar da melhor forma com o MPEG-2, o mais popular usado. Suas características principais são:

- Baixa taxa sinal/ruído
- Largas bandas disponíveis
- Tubos amplificadores de satélite são operados em modo não linear para máxima eficiência de potência.
- Extrema baixa taxa de erros

Todos os componentes operam TDM num único sinal digital. A modulação usada padrão é a QPSK, no qual o sinal é dividido de acordo com sua fase em quatro possíveis valores:

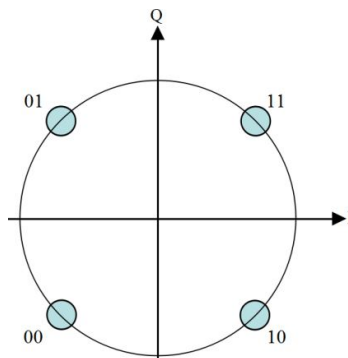


Figura 2-4: Representação de codificação QPSK
(<http://en.wikipedia.org/wiki/QPSK>)

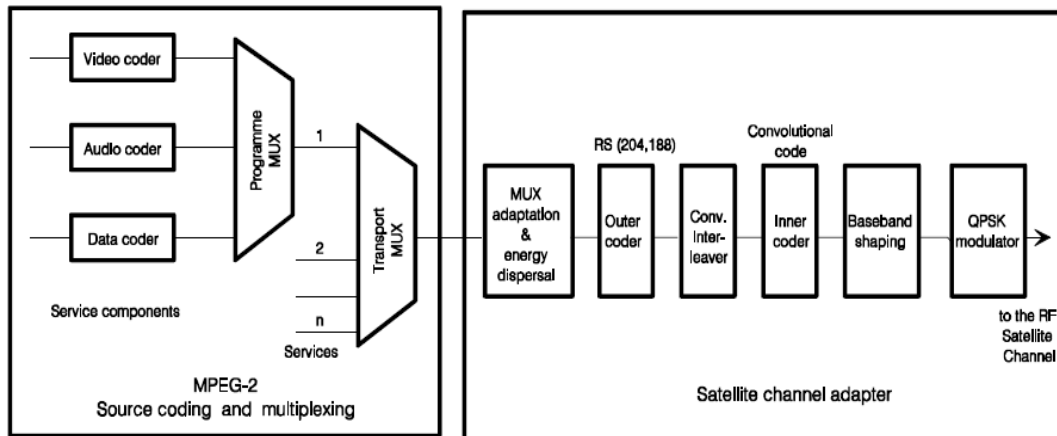


Figura 2-5: Diagrama de Blocos Funcional de um sistema padrão DVB (ETSI - Institute, 1997)

Quanto ao tratamento de erros, ela se baseia num código convolucional e uma versão resumida do popular Reed-Solomon.

Um novo modelo chamado DVB-S2 foi implementado, atendendo mais necessidades de vídeos em alta definição e melhor utilização de TV Digital, além de facilitar o uso do mais novo algoritmo de compressão de vídeo H.264 e áudio AAC. Embora há perspectivas otimistas para o novo modelo e já existam aparelhos comerciais compatíveis com as duas normas de DVB, atualmente ainda poucos satélites já o possuem funcionando, além de os equipamentos terem um preço consideradamente elevado.

Além disso, o DVB-S2 possui *backwards compatibility*, fazendo com que o DVB-S possa ser utilizado em uma camada diferente, sem nenhum custo. Além disso, também é possível utilizar MPEG-2 como o algoritmo de compactação junto com outros mais modernos.

2.4.2 MPEG-2

O sistema MPEG-2 foi uma estrutura criada a partir da norma ISO 13818-1, de forma a possibilitar a transmissão e informação de vários tipos de informação multimídia em um fluxo de transporte único. Foi o algoritmo escolhido para as diversas aplicações desde os primeiros DVDs até transmissões de vídeos pela internet, cabo ou satélite.

Analisando-se pelo lado da decodificação, o processo começa na camada de transporte onde se subdivide em pacotes PS e TS, que significam Program Stream e Transport Stream, respectivamente. O PS provê informações específicas de programas, geralmente utilizados em DVD, onde não há taxa de erros. Por outro lado, o TS é utilizado para transmissão de todas as informações multimídia.

O TS tem um tamanho fixo de 188 Bytes, sendo 184 Bytes os dados transmitidos e 4 bytes de header. O header contém as seguintes informações:

- Sync Byte fixo: 0x47

- Indicador de erro de transporte
- Indicador de início de dados.
- Prioridade de transporte
- PID: Id de Processo de 13 bits, utilizado para identificar tipo do pacote
- Controle de ordenamento dos pacotes
- Controle de Adaptação de Campo
- Contador de continuidade: contagem de pacotes PES

| sync byte | transport error indicator | payload unit start indicator | transport priority | PID | transport scrambling control | adaptation field control | continuity counter |
|-----------|---------------------------|------------------------------|--------------------|--------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 0x47 | 0 | 0 | 0 | 161 (0x00A1) | 0 (not scrambled) | 3 | 5 |

Figura 2-6: Informação de Header do TS de MPEG (Tektronix - Kucera, 2002)

Por sua vez, no TS são encapsulados os Packetized Elementary Streams (PES), que englobam, em cada vez, informações de áudio, vídeo ou dados. Estes pacotes possuem um tamanho variável de até 64 KB, podendo assim ser separados em vários TS. A distribuição de cada PES é escolhida na hora de codificação, e geralmente são sincronizados em um período igual. Adicionalmente, são inseridos pacotes nulos para manter sincronização. A estrutura do PES se encontra na Figura 2-7:

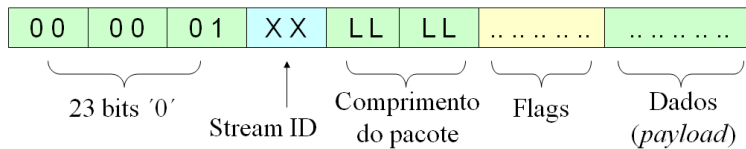


Figura 2-7: Estrutura de PES (STOLFI, 2007)

Estes pacotes possuem um Stream ID, que identificam qual o fluxo de áudio, vídeo ou dado relacionado. Por convenção, existem 32 streams reservados de áudio (bytes: 110x xxxx) e 16 streams para vídeo (bytes: 1110 xxxx).

Tabela 2-2: Valores convencionais de Stream IDs para os PES

| XX | Tipo de Fluxo de Dados |
|---------|--------------------------------------|
| B9 | Fim de Packet Stream |
| BA | Pack Header |
| BB | Header de Sistema |
| BC | Tabela de Mapa de Programas (PS-PMT) |
| BD, BF | Fluxo de Dados Privado |
| BE | Enchimento |
| C0 ~ DF | Áudio MPEG-1 ou MPEG-2 |
| E0 ~ EF | Vídeo MPEG-1 ou MPEG-2 |

Fonte: (STOLFI, 2007)

Finalmente, ainda existem os pacotes Program Specific Informaion – PSI encapsulados pelo TS. Estes têm a função de disponibilizar informação sobre os programas existentes, quais os PIDs relacionados a cada Stream, entre outros dados. Cada tipo desses pacotes é identificado por um PID também reservado. Os tipos possíveis de PSI são:

- **PAT: Program Association Table** – contém a lista de todos os programas na TS, junto com o respectivo PID para o PMT de cada programa;
- **PMT: Program Map Table** – contém os PIDs de cada canal de áudio, vídeo ou dado associado a um programa.
- **NIT: Network Information Table** – lista informações sobre a rede física como frequências de canal, gerador do serviço ou nome do provedor.
- **CAT: Conditional Access Table** – enviado quando um stream é embaralhado. Provê detalhes sobre o sistema de embaralhamento usado e informa os PIDs dos pacotes de transporte que contém a informação do *Conditional Access*.

Abaixo segue um exemplo de interação de estrutura básica dos pacotes, assim como sua organização no TS:

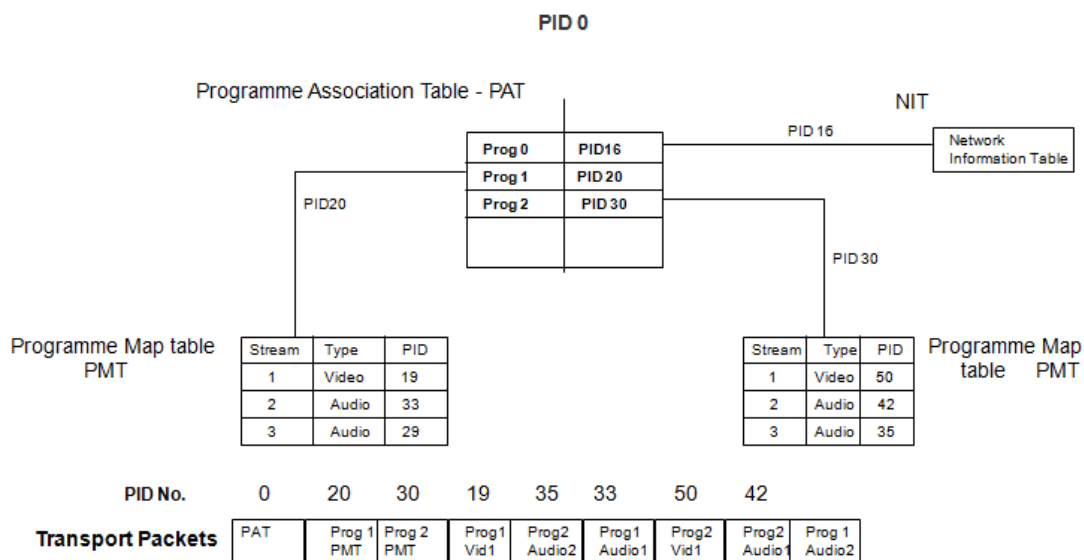


Figura 2-8 Exemplo de Estrutura dos pacotes PSI e fluxo do TS (Tektronix - Kucera, 2002)

2.5 Estudo de Componentes Utilizados no Mercado

Foi escolhido analisar o mercado de STB para satélite, devido possuir a mesma funcionalidade. Nesta análise, serão destacados os principais componentes utilizados no aparelho que suprem a necessidade do projeto.

Mais precisamente serão avaliados os componentes sugeridos nos *reference models* para STBs entre diversas empresas, relacionados ao padrão DVB-S.

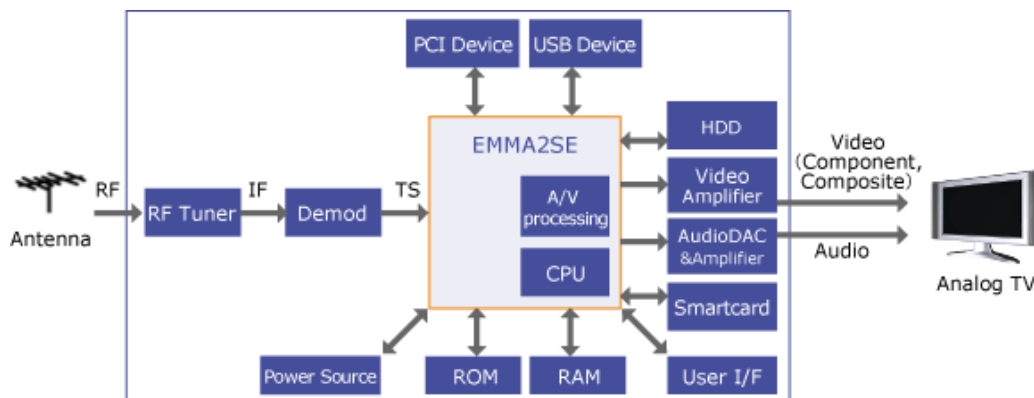


Figura 2-9 Exemplo de Diagrama de Blocos de um STB
(http://www.necel.com/applications/en/consumer/digital/stv/img/img_01.gif)

2.5.1 Sintonizadores e Demoduladores

- a) **Sintonizador:** Tem a função de conversão direta do sinal RF de banda larga fornecido pelo LNB (aparelho de recepção do sinal de satélite) em banda L para ser processado pelo demodulador. A frequência de operação padrão de entrada geralmente se estende de 925MHz a 2175MHz. O dispositivo ainda inclui funções de amplificação de ganho variável, além de filtros de passa baixa para controle de ruído baixo de sinal;
- b) **Demodulador:** Este componente é responsável por demodular a banda L dividida em canais I e Q recebidos pelo tuner que, por sua vez, representam sinais diferenciais de banda de base para os dois bits da representação de sinal QPSK, quando no padrão DVB. O sinal recebido é passado por tratamento de correção de erros – FEC – e, por fim, convertidos em Transport Stream do MPEG em sua saída.

Atualmente, os componentes vendidos já para o padrão DVB-S2 possuem também modo de compatibilidade com seu padrão predecessor, trazendo às empresas de equipamentos eletrônicos a possibilidade de comercialização de produtos nos dois padrões ao mesmo tempo. No mercado, existem duas formas principais de implementação comercial destes componentes:

- i. Utilização de um único módulo compreendendo os dois CIs, com uma única unidade padrão para sintonização do sinal e geração do TS de MPEG. A potência média dissipada se limita a menos de 1 W e sua tensão em média é 3.3V. Alguns modelos de referência são: Intel CE 9541, LG TDQY-P001F e SERIT SP1414LB;
- ii. Sintonizador como um módulo isolado conectado diretamente ao chipset do STB, onde este já vem com um demodulador QPSK integrado.

2.5.2 Processador de STB

Os STBs geralmente possuem um processador principal responsável pelas funcionalidades essenciais do aparelho. A função básica consiste em:

- I. Recebimento do TS do demodulador;
- II. Desembaralhamento dos pacotes, pois a ordem dos mesmos pode ter sido trocada no caminho da transmissão;
- III. Reconhecimento dos PIDs do DVB-S;
- IV. Armazenagem e escaneamento dos PIDs de áudio, vídeos e demais recursos do MPEG;
- V. Multiplexação dos PIDs
- VI. Decodificação MPEG e tratamento dos PES de acordo com o tipo do pacote;
- VII. Produzir saída de áudio e vídeo na forma digital ou analógica.

Contudo, a arquitetura e recursos dos processadores variam muito de cada modelo. Atualmente alguns englobam também demodulação QPSK, interfaceamento de IR/SATA, leitura de *smart cards*, entre outros. As decodificações de vídeo mais populares são compatíveis com SDTV/HDTV em MPEG-2 (para DVB-S) e H.264 (para DVB-S2), respectivamente. Para áudio, existem suporte desde apenas MPEG-Camada 1 até AAC/WMA-9.

Cada vez mais estão agregando funcionalidades aos chips para suprir demandas como alta definição, interação com usuários ou simplesmente desenvolvimento mais rápido de produto. A empresa STMicroelectronics, por exemplo, introduziu em março de 2009 um chip de baixo custo STi5189 para agilizar a implementação de dispositivos. O processador traz embutido demodulação QAM/QPSK, decodificação áudio/vídeo MPEG-2, interfaceamento com Ethernet/USB, entre outros.

2.6 Dados Estatísticos

Na Tabela 2-3 seguem dados sobre estações de rádio grátis via satélite espalhadas na região da América Latina, calculados através de uma amostragem aleatória do website Lyngsat:

Tabela 2-3: Comparação dos padrões de Transmissão comuns dos satélites atuais

| Padrão | Total | Porcentagem |
|--------|-------|-------------|
| DVB-S | 151 | 92% |
| PAL | 10 | 6% |
| DVB-S2 | 3 | 2% |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor através de dados contidos em:
<http://www.lyngsat.com/freeradio/South-America.html>

3 ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO

Neste capítulo, serão apresentadas as tecnologias de comunicação e áudio que o projeto irá se basear. Após serão discutidos os requisitos e metas do projeto, assim como uma visão geral do processo e fases que envolvem a implementação.

3.1 Decisão de Projeto

Através da análise das órbitas de satélite, os satélites destacados com serviços de broadcast de televisão e áudio são geralmente GEO. Apesar do alto custo de lançamento, a abrangência de ouvintes é muito grande (cerca de 1/3 da Terra por satélite, sem contar os Pólos Norte e Sul), além disso, cada satélite tem capacidade de transmissão de um alto número de estações, criando uma boa relação custo/benefício. Particularmente, para este projeto, isso se torna muito útil devido à grande área de transmissão.

Quanto aos serviços de transmissões diferentes em broadcast para rádio ou televisão, a grande vantagem é que utilizam as formas compatíveis de mercado, baseadas principalmente no DVB / MPEG. Isso significa que o dispositivo poderá receber o sinal tanto de som de uma estação de rádio via satélite, quanto também disponibilizar um áudio de uma estação de TV, filtrando-se pelos PIDs de áudio do TS do MPEG. Além disso, estações de rádio/TV assistenciais sociais poderão ter mais vantagens, já que não só utilizariam o dispositivo proposto nesse trabalho, mas também os demais aparelhos convencionais populares no mercado como a televisão e o rádio comum.

Os planos padrões utilizados foram analisados no seguinte critério:

- **Popularidade:** DVB / MPEG-1 (áudio) – popularidade extremamente alta
- **Menor utilização computacional:** Analógico (ultrapassado), DVB/MPEG-1
- **Consumo de Banda:** DVB-S2 / MPEG-4
- **Vantagens e Recursos:** DVB-S2 / MPEG-4
- **Equipamentos e Preços:** DVB/MPEG-1

Concluindo-se, na escolha para este trabalho, os requerimentos mínimos que o protótipo a ser utilizado deverá seguir são:

- i. **Padrão de Transmissão:** DVB
- ii. **Padrão de algoritmo de Compressão:** MPEG-2
- iii. **Decodificação de áudio:** MPEG-1 – (camadas 1 e 2)
- iv. **Serviços:** estações gratuitas de rádio e televisão via satélite
- v. **Comunicação com Satélites:** Satélites GEO

As razões principais desta escolha se devem primeiramente pela sua popularidade. Tendo em vista que a grande maioria de serviços e equipamentos utilizam o DVB/MPEG-2, isso torna acessível em preço e avanço tecnológico.

Além disso, as necessidades do projeto são supridas pelo que esse padrão pode oferecer. Futuramente, mesmo com a maior utilização do DVB-S2, haverá *backwards compatibility*, além de os satélites também disponibilizarem o padrão antecessor.

Outra grande vantagem é que o MPEG pode utilizar até 48 canais, em baixa qualidade, se somados os SIDs dos PES disponíveis de áudio e vídeo, em som mono. O aparelho pode então utilizar esses canais para informações em línguas diferentes, filtrando pelo Stream ID, o que seria suficiente para grandes organizações assistenciais expandirem sua abrangência de ouvintes com o mesmo equipamento. Adicionalmente, alguns sinais também poderiam ser utilizados, em futuras implementações, com informações de texto e demais recursos multimídia.

Os serviços a serem utilizados serão as convencionais estações gratuitas de rádio e televisão para os testes, já que há uma grande quantidade disponível atualmente.

3.2 Diagrama de Blocos

O protótipo englobará o seguinte diagrama de blocos simplificado abaixo:

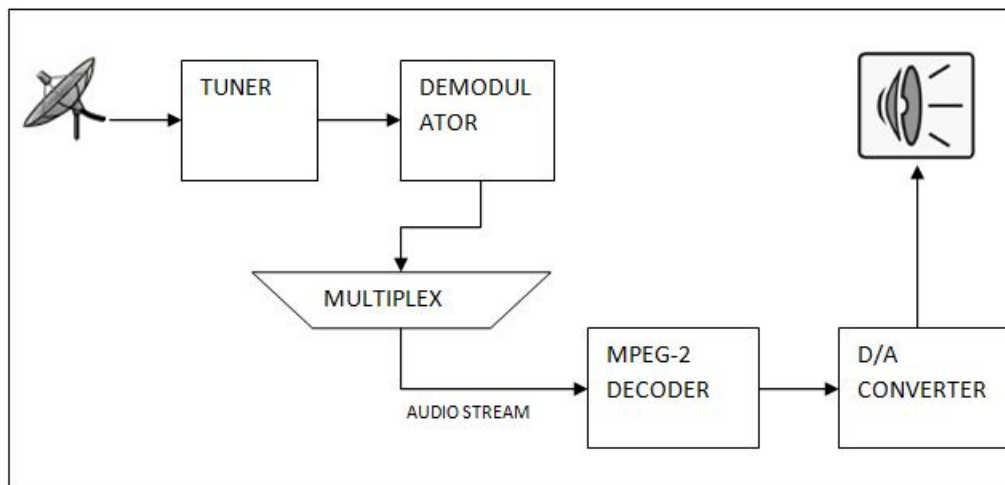


Figura 3-1: Diagrama de blocos básico do projeto

3.3 Fases Necessárias da Implementação

Para a implementação do projeto, de acordo com o diagrama de blocos, ela se subdividirá nas seguintes partes:

- Recepção e Demodulação de Sinal
- Filtragem de canal/stream
- Decodificação de áudio e Conversão Analógica

3.3.1 Recepção e Demodulação de Sinal

Para a recepção do sinal, a escolha de antena deverá levar em conta tamanho, custo e que consiga receber a maioria das estações. A potência de recepção irá variar de acordo com a área de cobertura do satélite, no Brasil se começa a partir de 36 dB para os principais satélites.

Os fatores principais é cobertura de ondas C ou Ku. Elas se distinguem pela faixa de frequência que utilizam: 3.9 GHz a 6.2 GHz para banda C e 15.35 GHz a 17.25 GHz para banda Ku (padrões especificados pela IEEE). Embora a banda C tenha melhor poder de penetração e, conseqüentemente, maior facilidade de captação de sinal, o tamanho de antena exigido é grande: mínimo de 1.5 metros de diâmetro. Já a banda Ku, tem pior grau de penetração, mas exige menor tamanho de antena, inicialmente de 50 cm.

Atualmente, como vemos nas Tabelas Tabela 3-1 e Tabela 3-2, com dados de satélites de cobertura no Brasil, ambas as bandas são populares atualmente. Devido a praticidade e tamanho da antena, para fins de teste e utilização de equipamentos será optado neste projeto uma antena com capacidade de recepção de banda Ku.

Tabela 3-1: Tipos de Banda X Total Estações obtidos da Lyngsat

| Tipos de Banda | Total de Estações |
|----------------|-------------------|
| BANDA C | 10 |
| BAND KU | 27 |
| AMBAS | 21 |
| OUTROS | 12 |

Fonte: Elaborado com base no link
(<http://www.lyngsat.com/america.html>)

Tabela 3-2: Tipos de Banda X Total Estações obtidos da BrasilsatDigital

| Tipos de Banda | Total de Estações |
|----------------|-------------------|
| BANDA C | 13 |
| BAND KU | 8 |
| AMBOS | 15 |

Fonte: Elaborado com base no link
(<http://www.brasilsatdigital.com.br/charts/index.php>)

O LNB (Low noise block converter), componente necessário para filtrar o sinal da antena parabólica em polarização e ruído, será escolhido de acordo com a melhor relação custo benefício.

3.3.2 Filtragem e Seleção de Canal/Stream

Cada estação de rádio/televisão via satélite é distinguido por um conjunto de parâmetros necessários para identificar a operadora, a programação e os canais de áudio e vídeo, além de demais serviços.

Os parâmetros a serem identificados para sintonização correta são:

- **Frequência**
- **Polarização** (horizontal ou vertical)
- **Symbol Rate (SR)** – identificam a taxa de transmissão de símbolos por segundo
- **FEC (Forward Error Correction)** – indicado por uma fração, representa a quantidade do SR que é usado para os dados reais, o restante é utilizado para correção dos dados.
- **Codificação ou System Encryption** – define a forma de codificação de dados, exemplo: DVB/MPEG-2
- **VPID ou Vídeo** – PID identificado no MPEG-TS para vídeo deste canal
- **TID ou Áudio** – PID identificado no MPEG-TS para áudio deste canal

Por exemplo, dada a configuração abaixo (retirada de <http://www.coolstf.com/mpeg/>):

```
12,177 V SR 23000 FEC 2/3
V 0FF0 A 0100 ATN
V 0FF1 A 0101 RTN
V 0FF3 A 0103 HealthSouth
V 0FF4 A 0104 RE/MAX TV
```

Isto significa que a transmissão desta estação está sendo sintonizada na frequência 12.177 GHz, usando polarização vertical. Seu Symbol Rate é de 23M símbolos por segundo, e seu FEC é de 2/3. Dados os diversos V e A, isso significa que a estação está transmitindo 4 canais de áudio e vídeo “simultaneamente”, com os PIDs informados para cada um deles.

A mesma situação para o chart retirado de <http://www.lyngsat.com/staronec2.html>, do satélite StarOne C2:

Tabela 3-3: Configuração dos Canais de TV e Rádio da Sessão Câmara

| Freq. Tp | Provider Name Channel Name | System Encryption | SR-FEC SID-VPID | ONID-TID Audio |
|----------------|----------------------------|-------------------|----------------------|----------------|
| 3628 H tp 1AEC | TV Câmara | DVB | 3000-3/4 1 – 1110 | 1-1 1211 P |
| | Rádio Câmara FM | F | | 1213 P |

Fonte: <http://www.lyngsat.com/staronec2.html>

Para a frequência 3.628 GHz (banda C), polarizado horizontalmente, existe o canal de televisão da TV Câmara, com Symbol Rate de 3M símbolos/s e FEC 3/4, PID de

vídeo 1110 e PID de áudio 1211. Além disso, também existe um canal de rádio com PID de áudio 1213.

Através dessas interpretações, o projeto deverá levar em conta essas variáveis, no que se refere a sintonização e posterior filtragem dos streams de áudio correspondentes de cada estação com o uso de um demultiplexador padrão.

De acordo com as análises dos chips que existem no mercado, os itens listados na Tabela 3-4 serão lidados sem necessidade de interação de usuário:

Tabela 3-4: Parâmetros configurados automaticamente pelo CI

| Parâmetro | CIs responsáveis pela configuração |
|-----------------------|---|
| Padrão de Encriptação | O demodulador/sintonizador é responsável pelo DVB-S. Já o MPEG deve ser processado por um processador STB ou decodificado por um chip de áudio, com os dados já demultiplexados. |
| Symbol Rate | A maioria dos CIs de sintonização suportam SR de até 45 milhões de símbolos. Abrangendo praticamente todos os canais. |
| FEC | A maioria dos CIs de Demodulação QPSK possuem reconhecimento automático das taxas de 1/2 a 1/8. |
| PIDs de Áudio/Vídeo | Os processadores MPEG já possuem funcionalidade integrada de leitura das tabelas PAT e PMT, armazenando assim os PIDs correspondentes dos PES de áudio e vídeo. Em caso de não utilização do chip MPEG, é necessário um dispositivo para demultiplexação. |

3.3.3 Decodificação de Áudio e Conversão Analógica

Como dito brevemente, a decodificação de áudio em chips de STB é processada internamente, provendo como saída os dados digitais de áudio puros. Com isso, a utilização de um conversor DA gera então a saída ao alto-falante.

3.4 Opções de Implementação

Serão listadas nessa seção as principais opções de projeto, incluindo análise de implementação do mesmo e as dificuldades de obtenção de informação de peças e aquisição.

3.4.1 Considerações Iniciais

A implementação do circuito englobava a utilização do kit de desenvolvimento fornecido pela Conexant com o chip de STB CX24142. Embora a negociação estivesse confirmada com os representantes brasileiros da empresa, não foi possível de ser realizada devido a dificuldades de fabricação e prazo de entrega em tempo hábil de projeto.

Com isso, foi necessário rever novamente as possíveis formas de implementação que haviam sido estudadas quando da escolha do circuito. As alternativas são descritas em seguida.

3.4.2 Tuner, Chip de STB e DAC avulsos

Nesta implementação, seriam comprados o Tuner, chip de STB e DAC, montando-os manualmente e interconectando-os.

O Tuner seria comprado dentre os vários existentes atualmente, principalmente oferecidos na manutenção de STBs: BSBE1-702B - ALPS, SU1278/LV-2- PHILLIPS, TDQF - S001F – LG. Também existe uma variedade chips de STB, como STI5189, CX24152 e EMMA2SL/S.

A vantagem dessa implementação se deve ao chip de STB já estar otimizado para suportar a recepção do Transport Stream do MPEG, assim como multiplexação e decodificação do áudio e interfaceamento em infravermelho e USB. Além disso, o custo por se comprar um chip com diversas funcionalidades, encontrado em diversos STBs atuais, é consideravelmente baixo comparado a outras formas de implementação.

Contudo, a viabilidade é pequena devido a diversos fatores. A soldagem e montagem do circuito envolveria um grande tempo de planejamento e verificação, já que os fabricantes não dispõem modelos de referência detalhados, além de que a própria negociação para solicitar peças ou kits de desenvolvimento é bastante limitada para consumidores que não sejam indústria. Muitos fabricantes e distribuidores não continuaram a comunicação ao saber que seria um projeto de estudo de universidade.

A implementação e customização do software no chip de STB para os fins deste trabalho também trazem limitação por falta de ferramentas de auxílio e Debug e documentação que são disponibilizados apenas para indústria.

3.4.3 Placas Pré-Produzidas para Aplicações Específicas

Existem placas pré-produzidas, normalmente por empresas asiáticas, para aplicações específicas que possuem os componentes necessários ao trabalho. Um exemplo foi a empresa Comtech-Tw (<http://www.comtech-tw.com.tw/>), com o produto DTS-SP1AD7KF. A placa consiste num receptor terrestre de TV digital para carros, com os mesmos componentes básicos, sendo que a única diferença é o Tuner num padrão DVB-T, ao invés do DVB-S que o projeto necessita.

Tendo em vista que, normalmente, os chips de STB recebem como entrada pacotes de Transport Stream, a adaptação da placa com um TUNER DVB-S parecido poderia ser realizada. O chip da placa era o SunPlus SPHE1002 e abrangia o processamento também de dados via satélite.

A comunicação foi feita com a Comtech e a empresa Sunplus, para solicitação de ferramentas de suporte e debug junto ao chip principalmente. Porém, a Sunplus não proveu suporte via email e telefone, e a Comtech, após uma negociação adiantada, decidiu não fornecer a placa para fins de estudo e customização, apenas comercialmente para empresas.

3.4.4 Implementação Customizada c/ Microcontrolador e MP1/2/3 Decoder

Nesta abordagem, a qual foi utilizada para o projeto, consiste na utilização de um Tuner padrão conectado a um microcontrolador que, por sua vez, realiza a comunicação com um decodificador MP2.

As funções do microcontrolador abrangem:

- Interfaceamento e configuração do Tuner e do Decodificador

- Armazenamento dos canais disponíveis sintonizados através do Tuner
- Leitura das tabelas PAT e PMT do transporte stream e armazenamento dos PIDs de áudio
- Identificação do formato recebido: MPEG-2 ou MP1/2/3
- Multiplexação dos PIDs de áudio através de análise do Header do TS
- Envio dos pacotes de áudio extraídos do TS para o chip decodificador
- Interfaceamento de usuário para troca de canais.

Os Tuners disponíveis no mercado geralmente possuem códigos de drivers para Linux, além de documentação extensiva e facilidade para compra por consumidor final. Além disso, existem decodificadores MP1/2/3 populares no mercado, como o VS1011 da VLSI.FI, com ótima documentação de suporte e disponibilização para projetos não comerciais e de estudo.

Os microcontroladores também possuem a vantagem de fácil acesso e baixo custo, também com documentação e exemplos extensivos, além de ferramentas para debug e compilação de código em alto nível.

Quanto à programação e análise do TS do MPEG, existem também diversos aplicativos e códigos exemplo que facilitam a implementação do código para este projeto, inclusive propiciando uma otimização do código. Não exige grande complexidade de programação, pois apenas é preciso o filtro para PIDs de áudio.

As desvantagens associadas levam principalmente à parte física de conexão entre os pinos e o layout do circuito. Além disso, o uso de dois chips para multiplexação e decodificação de áudio pode envolver maior consumo de potência e dificuldade no interfaceamento entre eles.

Contudo, a razão pela escolha se deve principalmente ao fato de que os componentes escolhidos possuem muita documentação, incluindo exemplos de circuitos para comunicação. Além disso, a disponibilização para compra no mercado foi a mais acessível, visto que as outras formas propiciavam de forma limitada e era direcionado principalmente para indústria. O Tuner e o decodificador MP1/2/3, possuem já códigos prontos para utilizar e adaptar no microprocessador, poupando tempo também de desenvolvimento

3.5 Plano de Desenvolvimento

A seguir será mostrada uma visão geral de dos principais passos necessários ao desenvolvimento desse projeto, em ordem cronológica.

1. Componentes
 - a. Escolha e aquisição de peças
 - b. Criação de esquemático do Circuito
2. Criação de Bibliotecas
 - a. Rotinas de auxílio e debug
 - b. LIB de funções para comunicação com Tuner
 - c. LIB de funções para comunicação com Decodificador
3. Desenvolvimento
 - a. Rotina de demultiplexação

- b. Software de PC para monitoramento e testes
- 4. Circuito (após espera de chegada de peças)
 - a. Soldagem do circuito
 - b. Testes elétricos
- 5. Testes Preliminares
 - a. Teste e correção das bibliotecas
 - b. Teste e correção das rotinas de demultiplexação e software de PC
- 6. Avaliações
 - a. Preparação de arquivos e estações de satélite
 - b. Validação de resultados

4 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo, inicialmente será mostrado o diagrama de blocos com a escolha dos componentes de hardware utilizados. Em seguida, serão descritos os procedimentos realizados no projeto, divididos em implementações de hardware e software.

4.1 Hardware

O diagrama de blocos abaixo relaciona o fluxo dos dados e interconexão dos componentes, assim como a forma de comunicação.

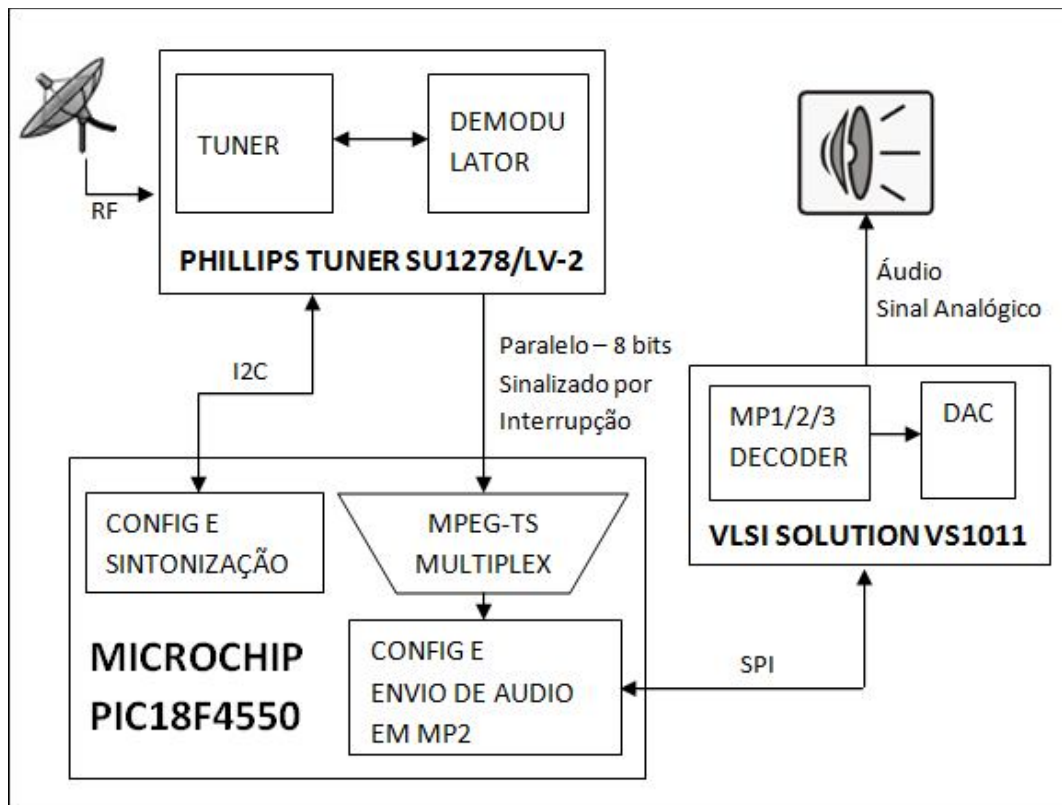


Figura 4-1: Esquemático do Circuito e Protocolos de Comunicação

4.1.1 Componentes Escolhidos

O Tuner escolhido ao projeto foi SU1278 da Phillips que possui o chip STV0299 internamente. A vantagem dele é a documentação fornecida, inclusive com valores de registradores recomendados e modelo de referência elétrica do circuito. Além disso, existe código de driver em Linux para este Tuner, o que torna a implementação de interfaceamento, inicialização e sintonização mais rápida. Embora a rotina para a utilização deste componente tenha sido implementada, além de também haver planejamento elétrico de conexão do tuner, este componente será simulado através da interface USB, utilizando o protocolo HID para comunicação dos dados.

Foi escolhido o microcontrolador PIC18F4550 da Microchip, executando em uma placa de desenvolvimento da ETTeam. A sua escolha se dá por fins de teste, com módulo MSSP para comunicação I²C e SPI, e interface USB para teste de envio de dados. Porém, após conclusão e teste da rotina, pode ser utilizado outro microcontrolador de menor custo.

A decodificação do áudio MPEG é feita pelo chip VS1011 da VISI Solution. Atualmente é um dos chips mais utilizados para decodificação MP3, porém este também suporta as camadas 1 e 2. A documentação é extensiva, além de prover exemplos de implementação para microcontroladores, esquemático e sugestões de conexão de circuito.

A sugestão de pinagem e conexões para o PIC18F4550 segue abaixo, levando em considerações pinos de interrupção e as portas utilizados para o módulo MSSP. Contudo na implementação do código, são utilizadas constantes para redefinição de acordo com o microcontrolador.

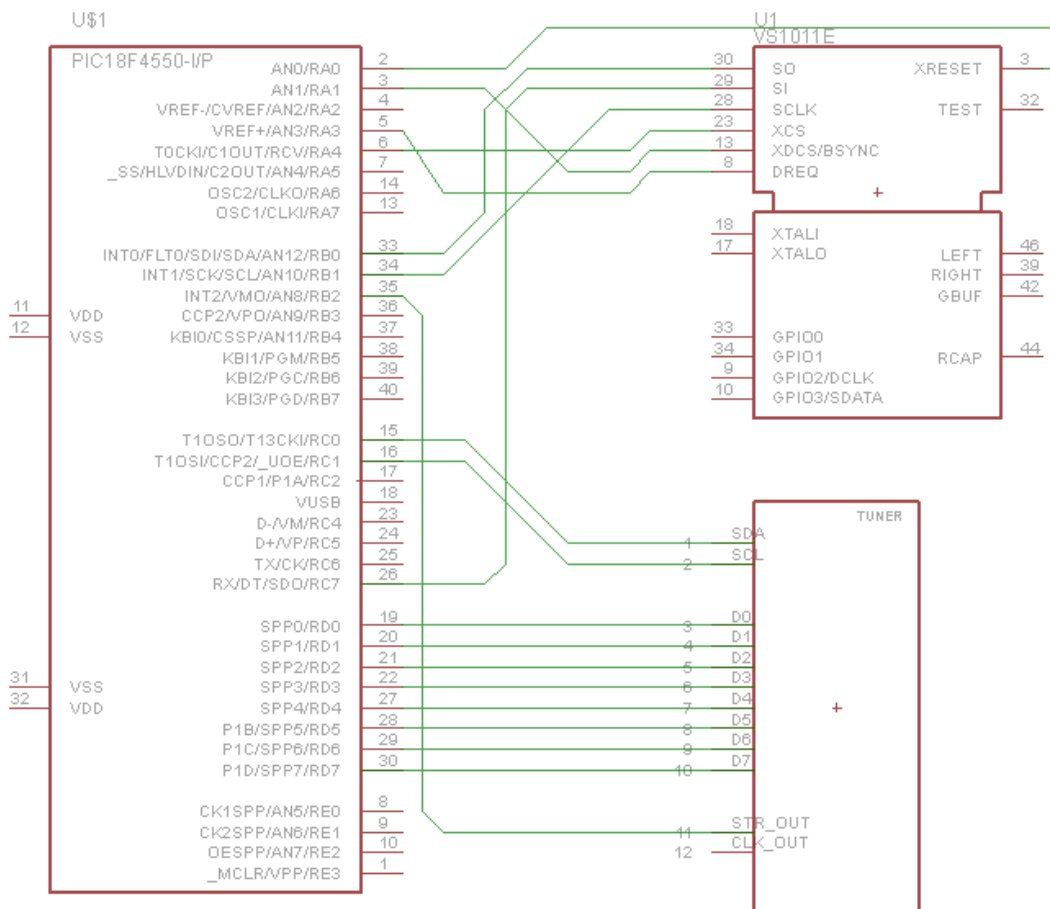


Figura 4-2: Pinagens entre os Componentes

4.1.2 Considerações Elétricas

O circuito criado possui componentes elétricos para adequação e segurança de fonte, pinagens de comunicação, entre outros.

4.1.2.1 Regulador de Tensão

O microcontrolador é alimentado por uma tensão constante de 5 volts, protegido com o regulador de tensão LM2575T, já provido pela placa de desenvolvimento. Contudo, o decodificador VS1011 possui fonte de entrada de 2,6V a 3,6V e o tuner necessita alimentação de 3,3V e 2,5V em pinos diferentes.

No projeto, como será citado posteriormente, visou como estudo a simulação dos dados recebidos pelo Tuner através do protocolo HID da interface USB, portanto não foi necessária a implementação do regulador de tensão para este dispositivo. Contudo as dificuldades e pontos relacionados à implementação de um regulador para o decodificador MPEG citados abaixo podem se referir também à implementação para o Tuner.

A dificuldade encontrada foi a procura de reguladores em Porto Alegre para tensões abaixo de 5V. As principais lojas especialidades não comercializam faixas de tensão

inferiores a isso. Portanto, foi realizado um estudo para projeto de um regulador de tensão, caso não fosse possível a aquisição de um CI a tempo de projeto. Seguem as formas estudadas:

- Diodo Zener - (APÊNDICE A)
- Regulador Shunt de Precisão Ajustável – TL431A - (APÊNDICE B)
- Regulador de Tensão - LP3985

Ao final, foi obtido o regulador de tensão LP3985 através de contatos de empresas na área de microeletrônica e esta solução foi implementada no projeto devido a principalmente a flexibilidade de tensão de entrada, precisão e confiabilidade.

Abaixo segue o circuito com capacitores sugeridos para melhor regulação utilizado no projeto.

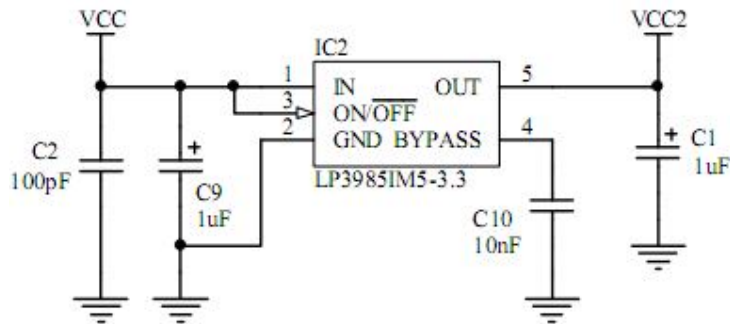


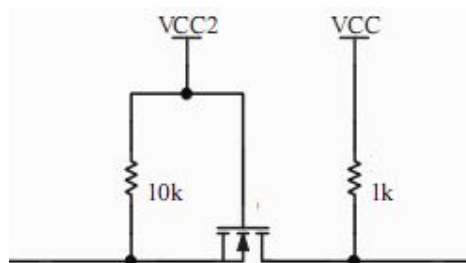
Figura 4-3: Sugestão de ligação do regulador LP3985
(Fonte: FuelTech)

É importante ressaltar que o datasheet disponibilizado pela VS1011 prevê como recomendação ideal duas fontes de alimentação diferentes para tensão analógica e digital de valores ligeiramente diferentes. Porém, por questão de simplificação, foi utilizada a mesma fonte.

4.1.2.2 Circuito para Comunicação de Dispositivos de Diferente Alimentação

Devido aos dispositivos possuírem fontes de alimentação diferentes, a comunicação dos componentes devia prever a conversão dos dados na tensão correspondente, caso contrário, isso acarretaria danos ao circuito.

Foi planejado o seguinte circuito baseado em transistores FET, como FDV301N (difícil de ser encontrados, porém com melhor qualidade) e BS170 (utilizado no projeto), para serem ligados entre as portas do microprocessador e os componentes VS1011 e SU1278:



**Figura 4-4: Circuito de conversão de tensão utilizado nas portas
(Fonte: FuelTech)**

Este circuito traz a vantagem da comunicação bidirecional entre os componentes, fazendo com que o FET converta à tensão apropriada, os valores 1 e 0 de cada pino dos dispositivos. VCC2 corresponde à tensão do Tuner/Decodificador e VCC a tensão do microcontrolador (no caso, 5V).

4.2 Software

A implementação se divide em criação de rotinas de debug de microcontrolador, software de computador para comunicação e monitoramento, rotinas de tratamento do MPEG-TS e protocolos de comunicação com componentes.

4.2.1 Rotinas de Debug e Software para Monitoramento

Para testes de comunicação entre os componentes e do tratamento da TS, foi criada uma lib que contém envia mensagens ao computador. Como o PIC18F4550 possui circuito nativo para USB, a rotina de debug utiliza o protocolo HID para envio e recebimento dos dados para monitoramento.

O software desenvolvido de computador realiza a simulação do Tuner, provendo os dados de TS de um canal de satélite, byte a byte, como seria executado no processamento do Tuner da Phillips. O código foi baseado em rotinas exemplo da Microchip Solutions.

4.2.2 Protocolos para Comunicação

Como visto, a interface do SU1278, utiliza o protocolo I²C para interação de dados de controle, atualização de registros e sintonização de canais de satélite. Já o decodificador VS1011 utiliza a interface de SPI para controle e dados. Ambos são os mais utilizados atualmente para interatividade entre dispositivos.

O protocolo I²C é uma forma multi-serial com dois pinos (SDA – pino de dados e SCL – sincronização de clock), operando master ou slave, podendo utilizar o mesmo barramento para comunicação com até 112 componentes. Ela se baseia no envio de um start bit, seguido de 7 bits de endereço do dispositivo mais um bit de direcionamento (read/write). O dispositivo retorna um bit de ack e após, recebe bytes de acordo com a operação, todos sempre com o bit mais significativo enviado primeiramente e após, respondidos por um novo bit de ack.

O protocolo SPI, por sua vez, utiliza 4 pinos: SCLK (sincronização de clock), MOSI (pino de entrada), MISO (pino de saída) e SS (seleção de componente). Pode operar,

portanto, de forma full duplex, e sempre de modo master/slave. A seleção do componente escravo é feita ativando o SS, e após enviando os dados serialmente pelo MOSI, sincronizados pelo SCLK. O envio de dados é flexível, podendo enviar um número variado de bits. No caso do VS1011, o SS equivale a dois pinos: xCS e xDCS, que correspondem, respectivamente, a entradas de dados de controle e dados.

Embora, no caso do PIC18F4550, seja possível utilizar os recursos do MSSP (módulo encarregado de comunicação serial de forma nativa) tanto para os dois protocolos (um cada vez), a I²C foi simulada em software. A razão disso é que essa comunicação é feita raramente, apenas na inicialização do Tuner e quando sintoniza-se outro canal de satélite. Com isso, provê-se mais flexibilidade de circuito para substituição de microprocessadores, com menos dependência de suas tecnologias.

A lib de rotinas I²C é simulada pela rotina “m_i2c_1”, desenvolvida e disponibilizada por um desenvolvedor da Universidade de Canterbury. A lib de SPI é baseada na fornecida pela Microchip, utilizando recursos nativos do microprocessador.

4.2.3 Microcontrolador PIC18F4550

A implementação do código utilizado no microprocessador foi realizada na seguinte sequência:

- a) Rotinas de Debug: Envio e Recebimento de dados via USB
- b) Rotinas para Comunicação com os demais Componentes
- c) Demultiplexação do MPEG Transport Stream.
- d) Interface de usuário: Controle de Botões e Leds.

Os dois primeiros itens, já mostrados anteriormente, servem como pontos de suporte para a rotina principal de demultiplexação do MPEG-TS, a qual engloba a maior parte de processamento.

4.2.3.1 Inicialização do Rádio

Abaixo seguem o procedimento de inicialização quando ligados os dispositivos, incluindo também os nomes das principais funções que são executadas. As funções serão descritas posteriormente para cada dispositivo.

Placa

- Desabilitação global de Interrupções - *board_init()*
- Habilitação dos pinos RC0 e RC1 para I²C via software - *board_init()*
- Habilitação dos pinos SPI pela lib de SPI – *board_init()*

Tuner

- Atribuição dos valores recomendadas de acordo com datasheet da Phillips para os registradores do sintonizador STV0299B – *tuner_init()*
- Configurar o envio de dados do Tuner para operar de forma paralela – *tuner_init()*
- Setar Frequencia, Polarização, FEC e Symbol rate inicial – *tuner_set_frequency()*

MPEG

- Chamada da inicialização do mpeg – *mpeg_init()*, *Mp3Reset()*
- Ativação da interrupção INT2 para recebimento de dados – *main()*
- Ativação da interrupção TMRO para envio de áudio - *main()*

4.2.3.2 Demultiplexação do MPEG-TS

A rotina *mpeg_ts_read()* é fundamentada principalmente para ser executada após uma interrupção, chamada através do Tuner, quando do pronto recebimento de cada byte vindo demodulado do satélite. De acordo com as especificações do SU1278, o pino STR_OUT sinaliza um pulso após a atualização dos 8 bits transmitidos de forma paralela, conectados ao microprocessador.

Como não está sendo utilizado o componente na prática, a rotina de simulação do Tuner pelo USB exerce a mesma funcionalidade, acionando de maneira falsa a rotina (como uma interrupção), a cada byte recebido pelo protocolo HID.

O *mpeg_ts_read()* se baseia primariamente em:

- i. **Contador de bytes do pacote de TS:**
Cada pacote possui 188 bytes, divididos entre header, payload e bytes de enchimento. Isso ajuda para verificar a sincronização do Transport Stream.
- ii. **Buffer de um byte:**
Correspondente ao byte lido do tuner simulado.
- iii. **Máquina de estados:**
Identificando o trecho do Transport Stream em que se está sendo feita a leitura.

O requisito importante dessa rotina é a otimização máxima de código para a demultiplexação. Tendo em vista que o recebimento de bytes é realizado em uma alta taxa, o processamento e análise do Transport Stream deve ser executado no tempo menor possível.

A demultiplexação é baseada no fluxograma abaixo:

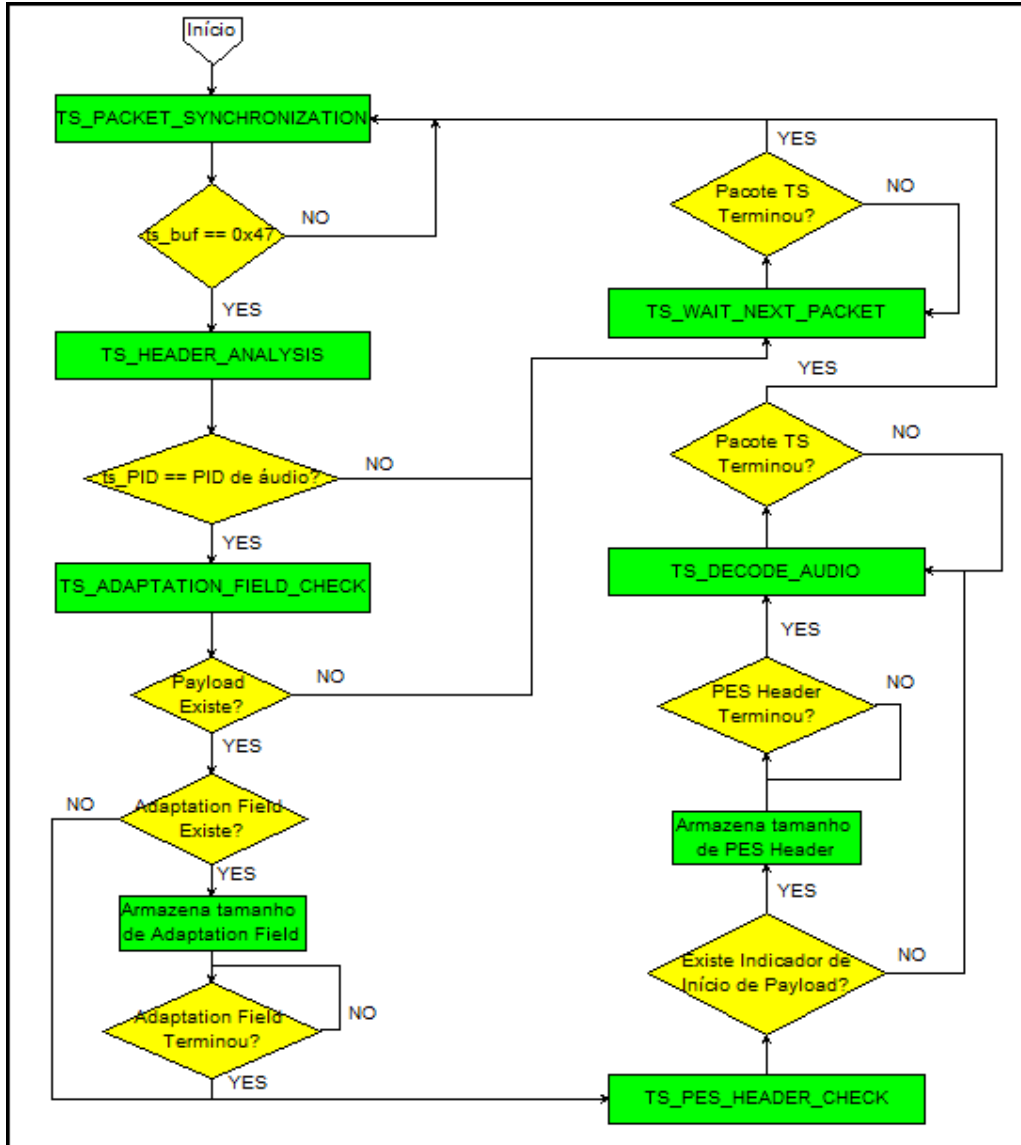


Figura 4-5: Fluxograma da Demultiplexação do MPEG-TS

Em cada estado, é feito o processamento do byte lido, guardando informações de header para serem processados depois. É importante observar que, para suporte e tratamento de falhas, em cada estado, para qualquer anormalidade como, por exemplo, contagem de bytes maior que 188 bytes, o estado é trocado automaticamente para `TS_PACKET_SYNCHRONIZATION`, a fim de sincronizar os pacotes novamente.

- **TS_PACKET_SYNCHRONIZATION**

Aguarda o recebimento do byte 0x47, que sinaliza o começo de uma Transport Stream. O contador de bytes (*unsigned char ts_counter*) do TS é recomeçado.

- **TS_HEADER_ANALYSIS**

São lidos os 2º e 3º bytes do TS, que guardam duas informações principais: *Payload Start Indicator* e PID do pacote lido.

O primeiro indica se há início de Payload que se traduz, na prática, de presença ou não do header do PES. Em caso afirmativo, isso significa que deverão ser analisados os primeiros bytes da parte de payload, que constituem informações do PES.

Os 5 bits menos significativos do 2º byte mais o 3º byte compõem o PID do pacote lido. Na leitura do 2º byte os 5 bits são armazenados e, após o recebimento do 3º byte, o PID é comparado com o correspondente PID de áudio armazenado numa matriz da memória. Se o PID é diferente, o estado é trocado para *TS_WAIT_NEXT_PACKET*, até a chegada do novo pacote.

- **TS_ADAPTATION_FIELD_CHECK**

Na leitura do 4º byte do TS, são analisados alguns identificadores: *Payload Data Exist* e *Adaptation Field Exist*.

O indicador de existência de Payload, indica se há alguma informação de áudio disponível. Se o bit for nulo, pode-se aguardar um novo pacote de TS.

Caso o indicador de Adaptation Field esteja setado, o header do TS se estenderá com informações variadas, como informações de relógio, indicador de prioridade e “stuffing bytes” utilizados para manter a taxa dos pacotes de áudio e complementação do tamanho final do PES. Em caso da presença do adaptation field, armazena-se o tamanho do campo provido no 5º byte do TS, e aguarda-se nesse estado até o contador zerar.

- **TS_PES_HEADER_CHECK**

Nesta etapa, primeiramente, confere-se a variável que indica a presença de início de payload, atualizada no *TS_HEADER_ANALYSIS*. Se não existe início, os dados do payload são áudio MP1/2/3 puros, portanto, troca-se imediatamente ao estado *TS_DECODE_AUDIO*.

Se há presença de header do PES, ele sempre se encontra no início de payload, marcado pela sequência 0x000001. Após é lido o StreamID (SID), que é geralmente constituído do valor C0, único stream para áudios comuns. Finalmente, o 8º byte lido a partir do início do header, contém o tamanho total restante do mesmo. Portanto, este valor é armazenado e diminuído a cada leitura de byte até seu valor zerar. Após isso, segue-se para a decodificação de áudio.

- **TS_DECODE_AUDIO**

Este estado compõe a leitura pura do áudio MP1/2/3, ou seja, cada byte lido corresponde a uma informação válida utilizada no chip VS1011 para decodificação. A forma de envio será descrita posteriormente na seção xxxx.

- **TS_WAIT_NEXT_PACKET**

Quando o pacote contém valores nulos, dados de sistema ou vídeo, mantém-se neste estado até a variável armazenadora contadora (*ts_counter*) totalizar 188 bytes. Pulando-se assim para a fase de sincronização *TS_PACKET_SYNCHRONIZATION*.

4.2.3.3 Interface de usuário

Foi criada a interface de usuário simples habilitando-se 2 pinos do microprocessador para botões e 4 para leds. Os leds são utilizados para debug, mostrando a comunicação entre Tuner, Decodificador e demais processamentos.

Um botão é responsável pela troca de estações de satélite. No caso real, isso solicitaria a rotina *tuner_set_frequency()* com um novo dado de frequência, symbol rate e FEC, como está sendo utilizada uma simulação via USB, um pacote HID é enviado ao computador, que se responsabiliza na troca do arquivo de TS transmitido.

4.2.4 Tuner - SU1278

Como mencionado brevemente, o Tuner SU1278 engloba, internamente, dois chips: o TDA8060 e o STV0299, responsáveis pela demodulação de sintonização das frequências de satélite. Como o chip STV0299 é utilizado popularmente em diferentes Tuners, atualmente existem drivers de Linux desenvolvidos para este chip.

A implementação portanto se deu a partir do código fonte *stv0299.c* disponibilizado em diversos sites como o Free-Electrons (<http://lxr.free-electrons.com/>), que disponibiliza materiais e documentos para sistemas embarcados.

As modificações foram feitas com base nas limitações do microcontrolador e com conveniências relacionadas ao projeto. Entre elas, constam alterações de código com operações de 64 bits, compactação e otimização do código fonte, atualizações de valores padrões de registradores, etc.

As rotinas disponibilizadas seguem em ordem lógica normal de processamento:

- ***void tuner_pause(char sec);***
Tempo de atraso para a interface I²C, após atualização de registros do STV0299
- ***int tuner_update_registry_frequency(long freq, long srate);***
Rotina de baixo nível utilizando a lib *m_i2c_1*, responsável por atualização de registradores do STV0299 através do protocolo I²C.
- ***void tuner_init(void);***
Inicialização do tuner. Compreende na leitura de um array, atualizando os registradores do STV0299 com configurações recomendadas pela PHILLIPS além de otimizações sugeridas por outros fornecedores.
- ***int tuner_set_symbolrate(long srate, long srate_reg);***
Configura a taxa de símbolos atualmente sendo transmitida. Esta rotina recebe um parâmetro a mais, que indica o valor direto do registrador que deve ser atualizado referente ao *symbol_rate*, pois anteriormente a rotina realizava operações de 64 bits que o microcontrolador não suportaria com os compiladores populares usados.
- ***int tuner_set_FEC(char fec);***
Configura o FEC correspondente à estação de satélite. Atualmente está setada para *FEC_AUTO*, ou seja, verifica-se automaticamente qual o valor

FEC utilizado pelo canal. Porém futuramente, pode ser informado o FEC correto, poupando consumo de potência e dando eficiência.

- ***int tuner_set_frequency(long frequency, long symbol_rate, long symbol_rate_reg);***
Função principal para sintonização de canal de satélite. Através de I²C, atualiza-se a frequência do LNB que deve ser filtrada, além da taxa de símbolos e código FEC. Esta rotina também chama as funções `set_symbolrate` e `set_FEC`.

4.2.5 Decodificador MP1/2/3 – VS1011

O chip VS1011 decodifica os principais formatos de áudio MPEG 1.0 e 2.0, camadas I/II/III, de taxas até 48000Hz e bitrags até 320Kbits/s. Além disso, ele possui recursos de streaming, úteis principalmente para condições variáveis de transmissão, como internet e satélite, que serão explicados posteriormente.

O chip também possui espaço de memória para inclusão de programas de usuário utilizando o processador interno, além dos recursos disponíveis. Embora não tenha sido utilizado, pode ser feita customização posterior para otimizar a recepção de dados por satélite.

As rotinas abaixo executam a interação do PIC18F4550 com o decodificador, mostradas numa explicação breve do seu processamento.

- ***void LoadPatch(void); void StartPatch(void);***
Rotinas para inclusão de possíveis patches a serem aplicados ao chip VS1011, para correção de bugs ou inclusão de programas de usuário customizados ao chip.
- ***void VsSineTest(void);***
Teste da interface de controle, atualização de registros e dos components analógicos, gerando uma onda de áudio senoidal em uma certa frequência.
- ***void Mp3Reset(void);***
Inicialização das partes de Hardware do decodificador. Gerencia o pino de reset, inicializa a interface de SPI através do envio de bytes nulos, ajusta a frequência de clock e inicializa as partes analógicas.
- ***void Mp3SoftReset(void);***
Reinicialização do chip através de atualização do registro SCI_MODE. Habilita a decodificação de camadas I/II e limpa buffer de áudio. Utilizado entre trocas de estação de satélite.
- ***void Mp3WriteRegister(addressbyte,highbyte,lowbyte); unsigned int Mp3ReadRegister (unsigned char addressbyte);***
Leitura e atualização dos registradores do VS1011.
- ***void mpeg_init(void);***

Inicialização quando do primeiro acionamento do dispositivo, as rotinas Mp3Reset e Mp3SoftReset são chamadas.

- ***void mpeg_send_byte(char * ts_byte);***
Envio de um byte de áudio ao chip, acionando o seletor de dados do VS1011 e transmitindo via SPI.
- ***void mpeg_send_packet(char * ts_byte);***
Envio de 32 bytes de áudio ao chip em uma única vez, acionando o seletor de dados do VS1011 e transmitindo via SPI.

4.2.6 Bufferização e Streaming

Devido à natureza da comunicação de satélite, é comum haver perda de pacotes, normalmente numa faixa contínua. Ao primeiro planejamento da implementação, foi considerado que o VS1011 lidaria com os dados ausentes, interrompendo temporariamente a saída do áudio e recomeçando quando da próxima estabilização dos dados. Esse é o comportamento normal utilizado nos principais aparelhos.

Porém, identificou-se uma grande frequência de corte de áudio, que prejudicava a escuta apropriada do som decodificado. Para tal, foi necessária uma abordagem de minimização dos “glitches” de som.

O VS1011 possui um recurso chamado “*Streaming mode*”, que possibilita o envio de dados que não possuem uma periodicidade fixa de transmissão de dados. Isso é particularmente utilizado em aplicações de rádio via internet e demais formas de comunicação com perda de dados.

Seu processamento consiste em tentar manter seu buffer interno de 16Kibit com dados pela metade. Existem duas formas de streaming providos ao VS1011: confiável e não confiável.

O método confiável abrange a transmissão de dados em intervalos constantes com pacotes de tamanho igual. O tamanho dos pacotes enviados também não podem ultrapassar 512 bytes. Após de um segundo de decodificação, de acordo com o datasheet, o áudio já é regulado apropriadamente.

Já o método não confiável engloba a situação em que não é possível estabelecer esse critério e os dados são providos em intervalos mais disformes. Para tal, é necessária a utilização de um buffer circular mínimo de 1Mbit, ou seja 128KiB, o que seria suficiente para manter a reprodução de 8 segundos de música à taxa de 128 Kbits/s. O procedimento sugerido pela VLSI Solutions é alimentar o buffer pela metade, e após enviar um grande bloco de 8Kbits ou 16Kbits ao chip. Após, realizar a leitura do registrador HDAT0, que possui a bitragem da música enviada, e, finalmente, começar o envio no período dado pela fórmula abaixo:

$$T = \frac{\text{Quantidade Bits Enviados a Cada Instante}}{\text{Bitragem da Música}}$$

Ou seja, dada uma bitragem de 128Kbits/s com pacotes a serem enviados de tamanho 32 bytes, deve-se enviar um novo pacote a cada 2ms.

Embora o método de streaming não confiável seja o mais adequado, a estratégia de implementação utilizada neste projeto não englobava este tamanho de buffer, nem possibilidade de memória externa, visto que esse problema não era esperado. Porém, para adaptação, foi escolhida uma implementação mista de streaming, abrangendo um buffer menor interno de 608bytes, com envio temporizado de blocos por interrupção de Timer do microcontrolador PIC, praticando-se o streaming confiável.

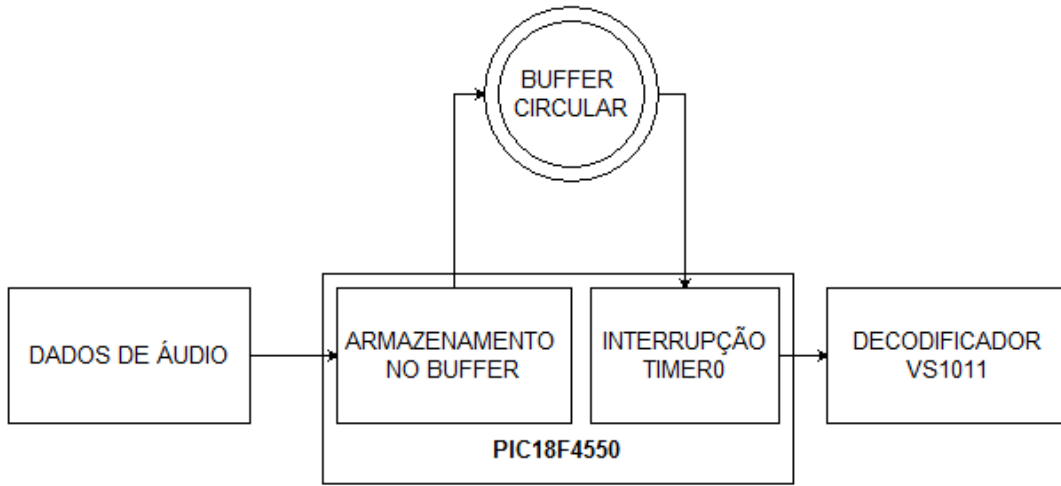


Figura 4-6: Streaming: Implementação de Buffer e Temporização

Foi desenvolvido também um conjunto de rotinas para lidar com o buffer circular, prevenindo o enchimento e esvaziamento de buffer, assim como a utilização de *mutex* para acesso à seção crítica, já que a interrupção de timer pode intervir no momento do processo normal de alimentação do buffer.

5 TESTES E AVALIAÇÕES

Esta seção irá englobar os principais aspectos de temporização e recepção dos dados pelo hardware. O principal foco será a análise da capacidade de processamento relacionando os diferentes estágios de uma demultiplexação MPEG e decodificação do som, além de tempos para comunicação entre dispositivos, duração e volume de instruções.

5.1 Fontes de Dados para Teste

Foram utilizados arquivos com informações puras de satélite capturadas da antena de 45cm do grupo PRAV (Projetos de Áudio e Vídeo), situado no Instituto de Informática da UFRGS. Os dados foram extraídos das estações dos seguintes satélites:

Tabela 5-1: Satélites Utilizados

| SATÉLITE | POSIÇÃO | POTÊNCIA TRANSMISSÃO (Porto Alegre: 30° S, 51° W) |
|----------------|---------|--|
| ESTRELA DO SUL | 63° W | 46-47 dBW |
| AMAZONAS | 61° W | 45-47 dBW |

(Fonte: <http://www.lyngsat.com/>)

As estações gravadas estão separadas por arquivos. Abaixo são citadas as propriedades de sintonização e de codificação:

Tabela 5-2: Estações de Satélite Gravadas

| SATÉLITE | ESTAÇÃO | FREQ. | PID (áudio) | SymbolRate(kS) – FEC |
|-------------------|---------------------|---------|----------------|-------------------------|
| AMAZONAS | RedeTV | 11015 H | 0xE2D | 28887 – 3/4 |
| | Rede Corporativa | 10975 H | 0x5DE | 30000 – 3/4 |
| ESTRELA DO SUL | Rede Mercosul | 11830 V | 0x22 | 6000 – 3/4 |
| | NSC (temporário) | 11887 V | 0x300 | 2400 – 3/4 |
| | Rádio Super Sucesso | 11871 V | 0x44 | 2000 – 3/4 |
| | Rádio Pet | | 0x43 | |

| | | | | |
|--|-------------------|--|------|--|
| | Rádio Eldorado FM | | 0x4D | |
|--|-------------------|--|------|--|

(Fontes: <http://www.lyngsat.com/> e <http://www.brasilsatdigital.com.br>)

5.2 Ferramentas de Avaliação

Para as análises dos Transport Stream, os softwares abaixo foram utilizados em conjunto:

- **MPEG2 TS Packet Analyser**
<http://www.pjdaniel.org.uk/mpeg/>
- **TSReaderLite**
<http://www.tsreader.com/tsreader/index.html#download>
- **ProjectX**
<http://sourceforge.net/projects/project-x/>
- **StreamGURU MPEG Analyzer**
<http://www.streamguru.de/download.htm>
- **Manzanita MPEG Stream Analyzer**
<http://www.manzanitasystems.com/mp2tsa.html>
- **VLC Media Player**
<http://www.videolan.org/vlc/download-windows.html>

Além disso, foi feito uso de um oscilador para verificação de velocidade real de processamento e comunicação, além das rotinas de debug e software próprios criados para o microcontrolador.

5.3 Temporização

Abrangeremos em sequência, as condições de tempo da comunicação vinda do satélite (e a simulação pela interface USB), tempo de processamento, tempos de interfaceamento entre componentes e tempos de reprodução de áudio.

5.3.1 Comunicação do Satélite

Embora tenha sido usada a interface USB para simulação do Tuner, principalmente para checagem do algoritmo de demultiplexação, iniciaremos aqui com os cálculos de velocidades necessárias para a recepção real de um Tuner ordinário.

Cada estação de satélite possui um Symbol Rate diferente, as taxas variam de 1M a 45M símbolos por segundo. Para calcular a taxa de recepção média de cada estação, também se deve levar em conta o FEC utilizado, a fórmula é dada por:

$$TaxaTransmissão = \frac{(SR * 2) * FEC * ReedSolomon}{8} \quad (Mbytes/s)$$

Onde, *ReedSolomon* significa a porcentagem $\frac{188}{204}$ do algoritmo para bits adicionais de correção de dados. Portanto, para cada byte recebido, há um intervalo de

$(\frac{1}{TaxaTransmissão})$ segundos de folga de processamento até a chegada do novo byte. Por fim, as velocidades de recepção dos dados em estações de satélite reais, em sua maioria, se concentram nos seguintes intervalos:

Tabela 5-3: Taxas de Transmissão Mínima e Máxima de Estações

| TAXAS | VELOCIDADE | INTERVALOS ENTRE BYTES | PROPRIEDADES DA ESTAÇÃO |
|-------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| MÍN | 115,19 KBytes/s | 8,68 us | SR: 1M, FEC: 1/2 |
| MÁX | 9,33 MBytes/s | 0,1072 us | SR: 45M, FEC: 9/10 |

A simulação foi realizada pelo USB em modo “Full Speed”, com configuração para uma taxa nominal de 12 Mbits/s. Porém, a taxa realizada, medida por osciloscópio foi apenas 42 KB/s em média, bastante diferente do esperado para o projeto. Após pesquisa, observou-se que o protocolo HID tem uma limitação de 8 bytes por segundo, o que dá uma velocidade máxima de 64 KB/s. O driver utilizado da Microchip ajudou para diminuir a taxa.

Esse fator limitou os testes para múltiplos streams dentro do MPEG, já que não havia volume de dados rápido o suficiente. Porém, foi possível testar todas as condições do algoritmo, além de arquivos de TS com apenas um stream de áudio dentro.

5.3.2 Tempos de Processamento

Para o microcontrolador se adequar às taxas de recepção comentadas no item anterior, é necessário que o tempo de processamento do algoritmo de multiplexação seja menor que o intervalo de chegada de bytes.

No caso do PIC18F4550, inicialmente foram realizadas diversas modificações no código da rotina de demultiplexação de modo a diminuir instruções e tempo de processamento, principalmente devido ao compilador C18 da Microchip não possuir técnicas muito aprofundadas de otimização de código.

Utilizando a rotina de “Disassembly Listing” provida pelo MPLAB IDE da Microchip, foi possível comparar instruções em assembly com cada linha de código C. Após uma varredura minuciosa, foram detectados os pontos mais comuns. Por exemplo, comparações de variáveis *char* com constantes numéricas menores que 256 eram convertidas em operações de inteiros. Apenas essa modificação, forçando a operação em *char*, otimizou o código de 12 para 4 instruções, o que é crucial para o alto desempenho do código.

Após isso, foi contado o número de instruções por fase do algoritmo. Embora, dependendo da instrução, haja diferentes tempos de processamento, isso é útil para estimar e analisar o pior caso, onde o processamento poderia ser muito extenso e, conseqüentemente, comprometer o pronto atendimento da chegada de novos bytes.

Tabela 5-4: Número de Instruções Assembly na Demultiplexação

| | | NÚMERO DE INSTRUÇÕES | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------|--------------|--------|--------------|
| | | CONDIÇÕES DE DESVIO | | | TOTAL MÁXIMO |
| | | ÁUDIO | AUDIO C/ PES | OUTROS | |
| FIXOS | INÍCIO mpeg_ts_read() – buffer e counter | | | | 4 |
| | INÍCIO mpeg_ts_read() – Switch | | | | 16 |
| FASES | TS_PACKET_SYNCHRONIZATION | 7 | | 7 | 7 |
| | TS_HEADER_ANALYSIS - 2º byte | 10 | | 12 | 12 |
| | TS_HEADER_ANALYSIS - 3º byte | 10 | | 9 | 10 |
| | TS_WAIT_NEXT_PACKET – loop | | | | 6 |
| | TS_WAIT_NEXT_PACKET - último Byte | | | | 4 |
| | TS_ADAPTATION_FIELD_CHECK - 4º byte | 10 | 12 | 11 | 12 |
| | TS_ADAPTATION_FIELD_CHECK - 5º byte | | | | 9 |
| | TS_ADAPTATION_FIELD_CHECK - leitura | | | | 11 |
| | TS_ADAPTATION_FIELD_CHECK - último byte | | | | 11 |
| | TS_PES_HEADER_CHECK - sem PES header | 4 | | | 4 |
| | TS_PES_HEADER_CHECK - leitura header | | 8 | | 8 |
| | TS_PES_HEADER_CHECK - armazen. tamanho | | 12 | | 12 |
| TS_PES_HEADER_CHECK - leitura extra | | 16 | | 16 | |

A tabela acima é representada da seguinte forma, as linhas com descrição do lado esquerdo representam os estados possíveis da rotina de demultiplexação *mpeg_ts_read()*, sendo que os primeiros dois itens classificados como “Fixos”, são instruções sempre executados, independentemente do estado em que o algoritmo se encontra. As três primeiras colunas representam os possíveis desvios dentro de cada estado, enquanto que a última representa o maior número entre as três. Abaixo seguem as condições de desvio:

- **ÁUDIO:** representa o número de instruções executados quando se recebe um pacote de áudio válido;
- **ÁUDIO C/ PES:** representa o número de instruções executadas quando se recebe um pacote de áudio válido, porém com Header adicional de PES presente;
- **OUTROS:** número de instruções executadas em outras condições específicas de análise do Transport Stream.

É importante ressaltar que cada fase, com exceção do processamento descrito nas duas primeiras linhas da tabela, são executadas de forma exclusiva, a cada byte analisado. Ou seja, após cada recebimento de um novo byte, a rotina *mpeg_ts_read()* é executada. Armazena-se no buffer o byte lido, incrementa-se o contador interno e, após um *switch*, direciona-se apenas para um dos estados presentes acima, concluindo-se a rotina, posteriormente. Também é válido lembrar que a rotina pode se manter no mesmo estado por mais de uma interação.

Tendo isso em vista, pode-se previamente presumir um total de instruções executadas, em cada chamada da rotina, de 20 instruções, correspondentes ao início do *mpeg_ts_read()*, mais o número de instruções da fase corrente.

5.3.2.1 Pacotes Ignorados

Quando se é analisado um pacote que não é áudio, a rotina sempre passa por três etapas apenas, representadas pelas cores amarela e verde na tabela: TS_PACKET_SYNCHRONIZATION, TS_HEADER_ANALYSIS e TS_WAIT_NEXT_PACKET.

Logo, podemos concluir que o pior caso de processamento, para este caso, é na etapa TS_HEADER_ANALYSIS, com 12 instruções executadas. Ou seja, total máximo de instruções executadas, na análise de um byte, para pacotes que não são áudio é de:

$$\text{InstruçõesFixas} + \text{InstruçõesPiorCaso} = 20 + 12 = 32 \text{ instruções}$$

Então, considerando a velocidade do PIC18F4550 de 12 MIPS, o tempo máximo de processamento se encontraria na ordem de:

$$\text{TempoMáximoEstimado} = \frac{32}{12000000} \cong 2,667 \text{ us}$$

Isso significa que, de acordo com a Tabela 5-3, nem todas as estações poderiam ser decodificadas normalmente, já que o intervalo de recebimento de bytes fornecido por um Tuner poderia ser menor do que o tempo máximo de processamento. Em outras palavras, o processador perderia bytes enviados pelo Tuner, pois ainda estaria processando uma das fases com o byte anterior recebido.

Para conferir o tempo de processamento real executado no microcontrolador, foi realizada uma simulação de contínuo recebimento de pacotes a serem ignorados. Com o auxílio do osciloscópio, foi identificado o valor máximo real, que se encontra próximo do estimado:

$$\text{TempoMáximoReal} = 2,58 \text{ us}$$

5.3.2.2 Pacotes de Áudio

Quando a rotina analisa pacotes de áudio, todas as etapas são passíveis de serem executadas, dependendo de informações presentes no header como presença de payload, presença de header de PES, entre outros.

Um ponto importante a ser citado é que a fase de decodificação de áudio TS_DECODE_AUDIO não foi incluída na Tabela 5-4. Isso se deve ao fato de que esta etapa inclui a comunicação SPI entre o microcontrolador e o decodificador VS1011, além de rotinas de tratamento do buffer circular. O tempo de execução dessa fase é a parte crítica do algoritmo e será tratada posteriormente de forma isolada.

Realizando-se a mesma análise do tópico anterior, pode-se calcular o máximo de instruções executadas e o conseqüente tempo máximo de processamento:

$$\text{InstruçõesFijas} + \text{InstruçõesPiorCaso} = 20 + 16 = 36 \text{ instruções}$$

$$\text{TempoMáximoEstimado} = \frac{36}{12000000} = 3 \text{ us}$$

O valor real analisado por osciloscópio foi:

$$\text{TempoMáximoReal} = 2,96 \text{ us}$$

Portanto, a situação de processamento dos pacotes de áudio diminui ainda mais as opções de estação de satélite, sendo necessária a escolha de estações com menor SR e menor FEC.

5.3.3 Decodificação de Áudio

Considerando os tempos críticos já analisados, somente a etapa de TS_DECODE_AUDIO traz um peso de processamento muito maior. As principais causas são a comunicação SPI e tratamentos do buffer circular.

5.3.3.1 Comunicação SPI

A configuração feita no PIC18F4550 para velocidade de transmissão do SPI possui três possibilidades: FOSC_64, FOSC_16 e FOSC_4, representando pelas devidas divisões, respectivamente, 750KHz, 3MHz e 12 MHz, dado que a frequência interna do oscilador é de 48 MHz. Como o chip VS1011 tolera frequências de no máximo 6MHz, foi escolhida a velocidade de 3MHz, que se traduz numa taxa máxima de transmissão em SPI:

$$\text{TaxaSPI} = 3 \text{ Mbits/s} = 375 \text{ Kbytes/s}$$

Por ser um recurso nativo de hardware, essa velocidade é garantida pelo módulo MSSP do microcontrolador.

Porém, testes de tempo da comunicação SPI também foram medidos via osciloscópio. O tempo medido para o PIC executar o procedimento de seleção e desseleção do pino de dados mais o envio de um byte para o VS1011 foi:

$$\text{TransmissãoByte} = 6,41 \text{ us}$$

Com isso, a taxa de SPI real praticada diminui para:

$$TaxaSPIReal \cong 1,25 \text{ Mbits/s} \cong 156,25 \text{ Kbytes/s}$$

Ao se analisar a razão deste tempo de processamento expressivo, constatou-se que a Lib provida para tratamento das rotinas de SPI com o VS1011 não se encontra otimizada. Isso gera um volume de instruções muito maior, além de que a rotina de envio de byte por SPI se mantém em loop até que a transmissão seja concluída, sendo algo desnecessário, já que se poderia utilizar esse tempo para processamento.

5.3.3.2 Buffer Circular

O buffer circular, criado para melhora na reprodução de áudio, apesar de trazer benefícios com os recursos de streaming do VS1011, foi pouco vantajoso. As rotinas para tratamento desse buffer incluem garantia de exclusão mútua com a interrupção de timer e conferência de estouro de tamanho de buffer, assim como atualização de variáveis. Isso acarreta então um maior número de instruções, traduzindo-se em maior processamento.

5.3.4 Reprodução de Áudio

Por fim, também foi necessário analisar o tempo de reprodução de áudio para uma determinada quantidade de dados enviados. Ou seja, determinar o tempo de folga de processamento enquanto o som está sendo reproduzido pelo VS1011, até que uma nova remessa de bytes seja enviada.

A fórmula de tempo de reprodução, para um byte, é dada por:

$$TempoReprodução = \frac{1}{Bitrate}$$

Então, para um áudio com bitrate de 128Kbits/s, isso significa que um segundo de reprodução de áudio sem cortes necessita que pelo menos de 128Kbits sejam enviados nesse intervalo de 1 segundo.

Porém, é necessário saber quantos bytes, em média, por pacote de TS, são efetivamente de áudio, excluindo-se bytes de header de TS, header de PES e nulos que completam o final do PES. Realizando-se essa análise, pode-se criar uma estimativa de qual o tempo médio de reprodução de som após um pacote TS de áudio. Isso também ajuda a identificar quanto tempo o microcontrolador pode gastar de processamento, até que a reprodução de som do pacote anterior tenha terminada.

Foram analisados os arquivos com dados capturados do satélite e os resultados se encontram na tabela abaixo:

Tabela 5-5: Tempo de Reprodução de Som por Pacote TS de Áudio

| ESTAÇÃO | BITRATE ÁUDIO | MÉDIA DE BYTES DE ÁUDIO P/ PACOTE TS | TEMPO DE REPRODUÇÃO MÉDIO P/ PACOTE TS |
|----------------------------|---------------|--------------------------------------|--|
| Rádio PET (0x43) | 128kbps | 139,33 bytes | 8,708 ms |
| Rádio Super Sucesso (0x44) | | | |

| | | | |
|--------------------------|---------|--------------|-----------|
| Rádio Eldorado FM (0x4D) | | | |
| RedeTV (0xE2D) | 128kbps | 181,89 bytes | 11,368 ms |
| Rede Corporativa (0x5DE) | 192kbps | 144 bytes | 6 ms |
| Rede Mercosul (0x22) | 256kbps | 177,23 bytes | 5,53 ms |
| NSC (temporário) (0x300) | 128kbps | 128 bytes | 8 ms |

Essa variação de tempos de reprodução se deve principalmente ao tamanho variável do PES. Como não existem regras fixas para o encapsulamento dos dados dentro do PES e como, normalmente, cada pacote TS possui dados de apenas um PES por vez, o último pacote é completado por bytes de enchimento no *Adaptation Field*. Essa é a principal razão pelos diferentes tempos mostrados na tabela.

Outro fator que também modifica, é como os dados de MPEG são passados, como por exemplo, dados de PCR, relacionados à sincronização do stream. Eles podem estar inclusos no *Adaptation Field* ou então em pacotes TS separados. Modificando-se também o *overhead* do pacote TS.

5.4 Análise Geral dos Tempos

Com base em todos os aspectos de temporização avaliados na seção 5.3, nessa seção será realizado um resumo para estabelecer uma visão geral do circuito, em função de tempo, identificando-se as fases mais críticas do projeto.

5.4.1 Análise de Pacotes

Para a primeira análise, é mostrado o fluxo abaixo, onde t_{Rep} representa o tempo de reprodução de som com os dados fornecidos de um pacote TS de Áudio e t_{Proc} o tempo que o microcontrolador é capaz de processar todos os outros pacotes

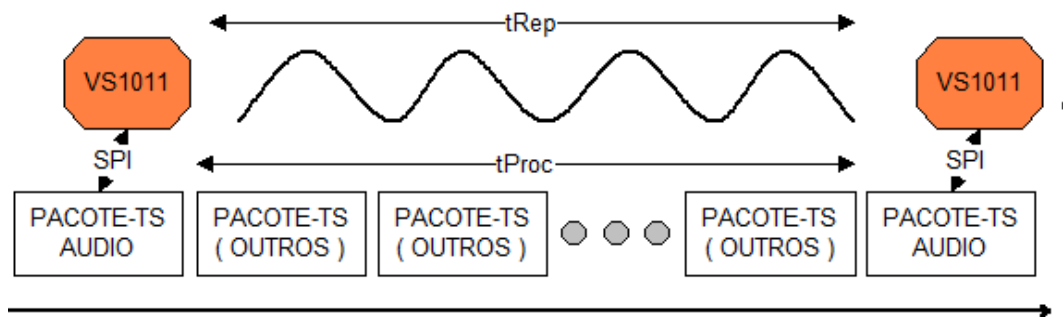


Figura 5-1: Visão por Temporização de Pacote

A figura representa o seguinte fluxo: o microcontrolador processa o primeiro pacote TS de áudio. Ao final do processamento do primeiro pacote, o VS1011 possui, em seu buffer, dados para reproduzir t_{Rep} ms de som. Ao iniciar a reprodução, os próximos pacotes são recebidos e tratados pela rotina de demultiplexação, passando pela análise de header, incluindo verificação de PID (para validar se é um novo pacote de áudio ou não) e, finalmente, à fase de esperar o próximo pacote TS. Esse processamento leva um

determinado tempo, como mencionado na seção 5.3.2.1. Por fim, a condição aqui exposta é que esse tempo deve ser menor que o de reprodução do som. Logo, tem-se que:

$$t_{Rep} \geq t_{Proc}$$

Por exemplo, analisando as porcentagens de distribuição em um dos Transport Streams capturados, no caso, as rádios da frequência 11871 V, do satélite Estrela do Sul:

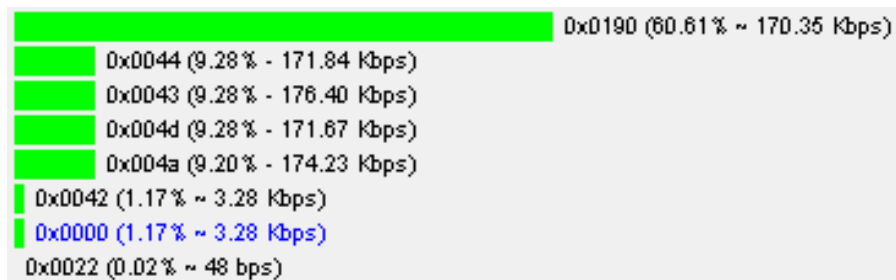


Figura 5-2: Distribuição de Pacotes de TS na estação 11871V - Estrela do Sul

Caso seja sintonizada a rádio Eldorado FM, apenas 9,28% dos pacotes são correspondentes à estação. Então, tem-se uma relação de 9,28 pacotes de áudio para 91,72 pacotes restantes, simplificando, há uma razão de 1:9. Ou seja, é necessário que 1 pacote de áudio tenha informação suficiente para reproduzir som por 9 vezes a tempo de processamento de um pacote ordinário. Utilizando os números analisados da Tabela 5-5, pode-se concluir que, em média:

$$t_{Proc} \leq 8,708 \text{ ms}$$

Para estimar o tempo de processamento de 9 pacotes de TS que não são de áudio, basta utilizar o *TempoMáximoReal* de processamento obtido na seção 5.3.2.1:

$$t_{ProcReal} = 188 * 9 * 2,58 \text{ us} = 4,36536 \text{ ms} \therefore t_{ProcReal} \leq t_{Rep}$$

Onde 188 representam o número de bytes totais de um pacote TS, 9 a quantidade de frames em média que não são áudio e 2,58us o tempo de processamento máximo destes pacotes para um byte. Vale lembrar que esses cálculos levam em conta uma média de valores e uma aproximação da distribuição dos pacotes. Porém, esse tempo garante uma que o PIC18 é capaz de processar em tempo hábil todos os pacotes para essa estação, antes que o som apresente cortes de reprodução.

5.4.2 Análise por Bytes

Sabe-se que, conforme analisado previamente, o tempo de análise de um byte pela rotina *mpeg_ts_read()* é crucial para determinar se uma estação é capaz de ser sintonizada por este projeto.

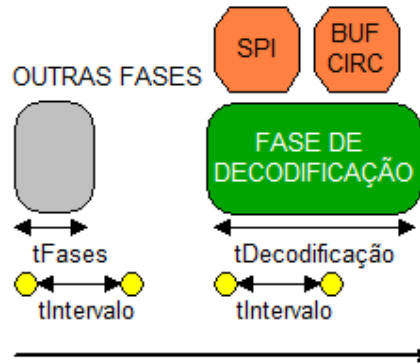


Figura 5-3: Visão por Temporização em Fases de Demultiplexação

Considere a figura acima, onde *tIntervalo* representa o intervalo de chegada de bytes de um satélite, *tDecodificação* o tempo de processamento da etapa TS_DECODE_AUDIO e *tFases* representa o tempo de processamento de cada uma das outras fases (TS_PACKET_SYNCHRONIZATION, TS_HEADER_ANALYSIS, etc.).

Para as estações com baixo SR e baixo FEC, há suporte tanto do algoritmo quanto do microcontrolador no processamento da *tFases*. Porém, na etapa de decodificação, o *tDecodificação* é muito maior que *tIntervalo*.

Calculadas as configurações possíveis de satélite que o projeto suportaria, se desconsiderada a etapa de decodificação, têm-se os seguintes números:

- Até 1,6Ms para qualquer FEC
- Até 2Ms para FEC de no máximo 2/3
- Até 2,9Ms para FEC de 1/2

Para qualquer SR maior que estes números, ou que tenham FEC acima destes valores, o algoritmo não mais suporta. De fato, considerando-se, por exemplo a Rádio Pet, mostrada na Tabela 5-2, e utilizando o cálculo da taxa de transmissão por bytes, temos:

$$TaxaTransmissão = \frac{(2000000 * 2) * \frac{3}{4} * \frac{188}{204}}{8} \cong 0,3456 \text{ Mbytes/s}$$

Isso equivale a uma taxa de recepção por bytes de:

$$TaxaRecepção = 2,89 \text{ us}$$

Para os pacotes ordinários, que não são de áudio, essa taxa é suportada. Já para os pacotes de áudio, há limitadores de tempo. Primeiro, a fase de TS_PES_HEADER_CHECK, com 16 instruções, traz 2,96us de tempo de processamento, o que é uma violação da *TaxaRecepção*. Segundo, considerado muito mais crítico, é o estado TS_DECODE_AUDIO com os dois processos que consumidores de tempo: SPI e Buffer Circular.

Para melhorar esta etapa, o buffer circular poderia ser suprimido, restando apenas a interatividade de SPI. Sabendo que a frequência de operação em SPI é de 3MHz, provendo 375KB/s, é necessário apenas 2,66 us para envio de um byte. Realizando testes substituindo a LIB SPI por instruções assembly otimizadas, foram necessárias apenas 12 instruções para essa etapa.

Portanto o tempo mínimo alcançável para TS_DECODE_AUDIO, sem buffer circular, e com otimização de instruções para o SPI é de:

$$t_{DecodeAudio} = \frac{20 + 12}{12000000} + 2,66us = 5,327 us$$

Ou seja, isso significa que todas as estações de satélite, com intervalos de bytes maiores que esse valor, são capazes de serem decodificadas pelo circuito.

5.5 Estações de Satélite Suportadas

Dada a fase de análise de byte de maior tempo, o TS_DECODE_AUDIO, e com a otimização do SPI e supressão do buffer circular, temos o tempo máximo de processamento de 5,327us. As configurações de estações possíveis de serem decodificadas estão presentes no gráfico abaixo (legenda à direita representa SR em milhares de símbolos):

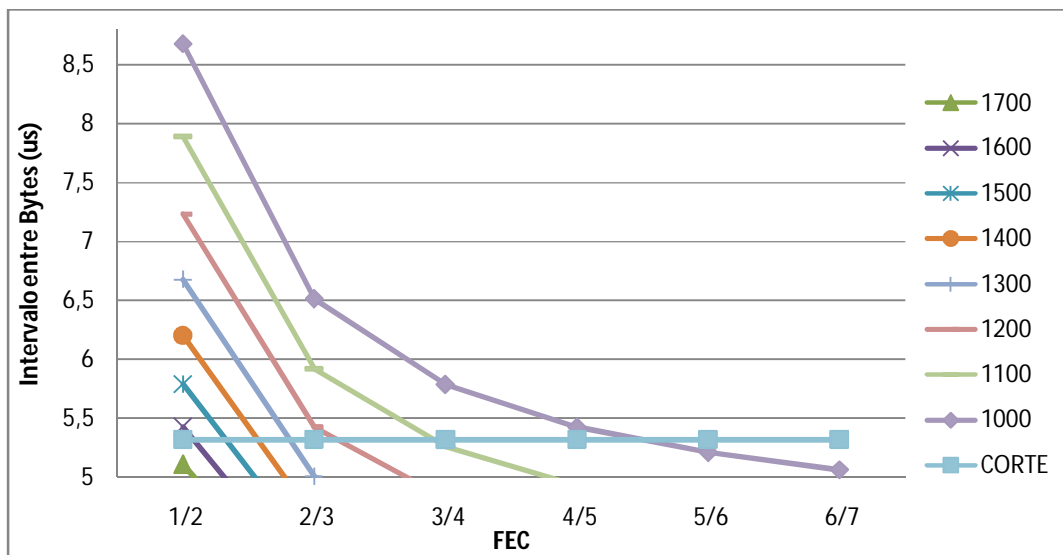


Figura 5-4: Configurações de Estações de Satélite suportadas pelo Projeto

Para os pontos acima da linha de corte, o circuito é capaz de decodificar.

5.6 Avaliação Final e Propostas

Conforme a Tabela 5-3, o tempo de processamento ideal para suportar todas as estações de satélite é de 0,1072us. Se forem contados o número máximo de instruções de cada etapa, no caso 36, é preciso que o processador tenha uma velocidade de:

$$MIPS \geq \frac{36}{0,1072us} \therefore MIPS \geq 336$$

Este é um valor extremamente alto, comparado com microcontroladores existentes. Porém, neste projeto, foi desenvolvida a rotina em alto nível em C, esperando que o compilador C18 realizasse uma melhor otimização. É possível então que este número ainda consiga ser diminuído significativamente se programado diretamente em assembly.

Outro ponto importante, é que o PIC possui um conjunto de instruções limitado, 83 instruções possíveis. A escolha de outros processadores pode prover um maior conjunto, por exemplo, o 8051 possui mais de 200 instruções (incluindo variações das mesmas). Isso se traduz em redução de código.

Ainda considerando o intervalo entre bytes, há outro fator importante: o SPI. É inviável considerarmos a decodificação direta de bytes quando da chegada do pacote de áudio, pois o tempo de comunicação SPI mínima é de 2,66us.

A única forma para atender essa velocidade, é armazenar o byte de som no buffer circular, os transmitindo quando surgem pacotes ordinários, que não são de áudio. Ou seja, um pacote TS de áudio é recebido e seus bytes de dados são armazenados no buffer. Quando o próximo pacote não é de áudio, a rotina pode realizar a transferência de parte do buffer, por exemplo, no estado de TS_WAIT_NEXT_PACKET. Lembrando que essa alternativa só é possível se o microcontrolador possui recursos de hardware para gerenciar o SPI de forma independente do processamento. A figura abaixo ilustra esta solução:

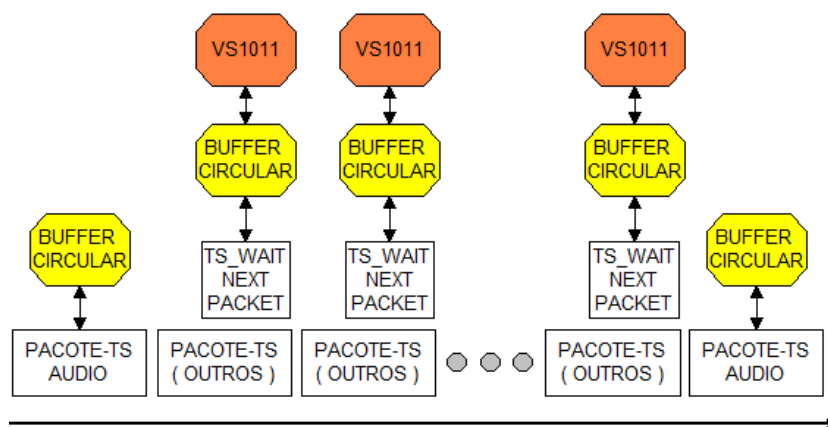


Figura 5-5: Proposta de Solução para Aspectos de Temporização

6 CONCLUSÃO

Analisando-se a proposta geral, esta deve ser mais detalhada, devido ao foco em áreas sem infra-estrutura. Embora a solução de satélite seja a mais adequada, sabe-se que há outros empecilhos nessas regiões como: fixação e sintonização da antena, fonte de energia (solar, elétrica), custo do equipamento (para popularização) e condições de durabilidade do equipamento. No caso das antenas, a empresa Thrane&Thrane tem inovado em produtos bastante compactos e de fácil sintonização. Nos demais itens, deve-se ponderar adaptações do projeto.

Em termos de aplicabilidade, ainda há necessidade de melhoras. O limitado suporte para estações de satélite do protótipo devido à temporização dificulta disponibilizar a variedade de informação intencionada para as comunidades. Idealmente, os chips de STBs, com suporte em hardware para muitas dessas funcionalidades, seriam a solução ideal para este problema.

Porém, com base na proposta criada após os testes, ainda há uma possibilidade de implementação de um protótipo bem mais adequado. Alguns procedimentos que ainda devem ser feitos são:

- **Recodificação do algoritmo de multiplexação em Assembly:** visto que o compilador C18 é muito ruim em otimização de código e que essa rotina é crítica, a implementação deve ser em assembly, de modo que gaste o menor tempo de processamento possível
- **Teste e comparação com outros microcontroladores:** a programação em assembly em diferentes microprocessadores, como o 8051, pode gerar uma grande diferença, também devendo ser comparada
- **Simplificação do circuito elétrico:** como os componentes operam em tensão diferente do microcontrolador, seria útil usar modelos especiais de microcontroladores, como o PIC18LFXXX, que utilizam alimentação variável, de acordo com sua frequência. Isso simplifica bastante o circuito sem o BS170, provendo menor consumo e maior tolerância a falhas.
- **Interface de Usuário:** é necessária também uma melhor interface de usuário, como por exemplo, visualização de informações em um display LCD.
- **Análises de Potência:** também se deve realizar um estudo do consumo de energia feito, para se adequar a outras formas de alimentação, como energia solar e baterias.

É pertinente dizer que, com estes passos, há uma possibilidade real de viabilizar o projeto, suprimindo os problemas que ainda aqui foram constatados.

Enfim, este trabalho conseguiu concretizar muitos ensinamentos obtidos no curso de Engenharia da Computação, além de gerar um alto grau de aprendizado prático. A aplicação de diversos conceitos introduzidos em Análise de Circuitos, Eletrônica, Microprocessadores, Redes, TV Digital e Programação foram essenciais para uma boa realização deste projeto. Tendo isso como base, pode-se destacar que esse trabalho atinge o principal objetivo, que é incorporar o conhecimento acadêmico em produtos comerciais.

BIBLIOGRAFIA

- (s.d.). Acesso em 15 de Maio de 2009, disponível em DvbResource:
<http://www.dvbresource.com/lbns/lbns.html>
- (s.d.). Acesso em 5 de Junho de 2009, disponível em SatSig:
<http://www.satsig.net/lb/explanation-description-lb.htm>
- (26 de Fevereiro de 2009). Acesso em 29 de Março de 2009, disponível em Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/XM_Sirius_Merger
- COMPONENTS, P. (16 de 08 de 2001). SU1200 - Satellite Network Interface Module.
- DAB vs DAB+ technology*. (s.d.). Acesso em Junho de 2009, disponível em
http://www.digitalradiotech.co.uk/dab/dab_vs_dab+.htm
- DANIEL, P. (11 de Maio de 2001). Investigation into Digital Video Streams. University of Salford.
- ETSI - Institute, E. T. (Agosto de 1997). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services.
- Forum, U. I. (27 de 06 de 2001). *Device Class Definition For Human Interface Devices - HID*. Fonte: http://www.usb.org/developers/devclass_docs/HID1_11.pdf/
- Forum, U. I. (28 de 10 de 2004). *HID Usage Table*. Fonte: http://www.usb.org/developers/devclass_docs/Hut1_12.pdf/
- <http://en.wikipedia.org/wiki/QPSK>. (s.d.). Acesso em 28 de Março de 2009, disponível em Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- Inc., M. T. (2007). *PIC18F2455/2550/4455/4550 Datasheet*. Acesso em 01 de 09 de 2009, disponível em Microchip Solutions: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- Intel. (2006). *Meets Requirements of ETS 300 421 DVB-S and DirecTV* Specification for DSS*. Fonte: <http://download.intel.com/design/celect/prodbrf/31221201.pdf>
- IPPOLITO, L. J. (2008). *Satellite Communications Systems Engineering*. WILEY.
- Iridium. (2 de Junho de 2003). Iridium Satellite Data Services. (versão 1.0). Estados Unidos.
- ISO/IEC 13818-1 - Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information* (2nd ed.). (2000). © ISO/IEC 2000.
- Kolawole, M. O. (2002). *Satellite Communicatio Engineering*. Melbourne, Australia: Marcel Dekker Inc.

- MICROELECTRONICS, S. (s.d.). *STI5188 - Low-cost free-to-air satellite set-top box decode*. Fonte: STI Microelectronics: <http://www.st.com/stonline/products/literature/bd/15174.pdf>
- Microelectronics, S. (05 de 2000). *STV0299B Datasheet*. Acesso em 10 de 09 de 2009, disponível em ST Microelectronics.
- ROESLER, V. (Abril de 2007). *Perspectivas em Transmissão Multimídia e TV Digital*. Porto Alegre, RS: UFRGS.
- SOLUTION, V. (08 de 10 de 2007). *VS1011 DATASHEET*. Acesso em 10 de 09 de 2009, disponível em VLSI SOLUTION: <http://www.vlsi.fi/fileadmin/datasheets/vlsi/vs1011.pdf>
- SOLUTION, V. (25 de 11 de 2005). *VS10XX - APPLICATION NOTES*. Fonte: VLSI SOLUTION: <http://www.vlsi.fi/uploads/media/vs10XXan.pdf>
- STOLFI, G. (Abril de 2007). *USP - Poli*. Acesso em 8 de Junho de 2009, disponível em <http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/PPT/MPEG2.pps>
- Tektronix - Kucera, D. (Novembro de 2002). *Introduction to MPEG-2 Compression and Transport Streams*. Acesso em 10 de Junho de 2009, disponível em Tektronik: <http://chapters.scte.org/cascade/DVB%20Overview.ppt>
- Union, I. T. (2002). *Handbook on Satellite Communications* (3rd Edition ed.). WILEY.
- Wikipedia*. (2 de Fevereiro de 2009). Acesso em 7 de Março de 2009, disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Communications_satellite

APÊNDICE A

REGULADOR DE TENSÃO ZENER

Consiste na regulação de tensão utilizando-se um resistor para controle de corrente e um diodo Zener em paralelo com o dispositivo para manter a voltagem escolhida.

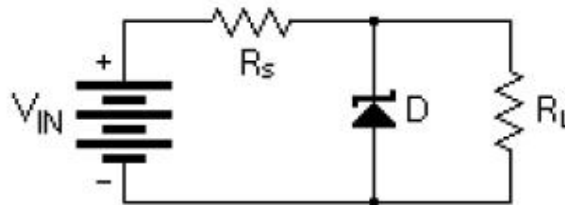


Figura A-1: Modelo de Regulador de Tensão com Zener
(Fonte: <http://manoel.pesqueira.ifpe.edu.br>)

Dado o circuito acima, V_{IN} é a tensão de entrada (no caso 5V), R_S representa o resistor de controle de corrente, D como o diodo Zener, e R_L a carga a ser regulada (ou seja, o decodificador). O cálculo dado para escolha de R_S é dado por:

$$R_{MÁX} = \frac{V_{IN_MÍN} - V_D}{I_{L_MÁX} + I_{Z_MÍN}} \quad R_{MÍN} = \frac{V_{F_MÁX} - V_D}{I_{L_MÍN} + I_{Z_MÁX}}$$

$$R_{MÁX} \geq R_{MÍN} \text{ (sempre)}$$

Pela tensão de V_{IN} já ser regulada, pode ser considerada a variação de tensão de alimentação desprezível. Portanto, $V_{IN_MÍN} = V_{IN_MÁX} = 5V$.

Dadas as características elétricas do VS1011, a tensão recomendada varia entre 2.5V e 3.6V e a corrente máxima de 50mA. Logo, os valores escolhidos foram: Zener de $V_D = 3,3V$, $I_{L_MÍN} = 0$, $I_{L_MÁX} = 80mA$ (para maior segurança).

A potência do Zener era de 0,5W, permitindo assim uma corrente de $I_{Z_MÁX} = 151mA$. Para a corrente mínima do diodo, calculou-se 10% deste valor, portanto, $I_{Z_MÍN} = 15,1mA$.

A faixa de resistência calculada para R_S então abrangia $11,25\Omega$ e $17,89\Omega$. Contudo, a tensão final constatada do regulador de tensão montado era bastante superior à tensão nominal do Zener. Após pesquisas, identificou-se que o diodo apresentava uma grande resistência interna variável chegando à ordem de 85Ω , impossibilitando a correta estabilização da voltagem para o VS1011.

Embora esta opção não tenha sido escolhida, há condição para operação apropriada deste regulador desde que utilizado um Zener de melhor qualidade e menor resistência interna, além de maior potência, suportando mais corrente e diminuindo o $R_{S_Mín}$.

APÊNDICE B

REGULADOR SHUNT DE PRECISÃO AJUSTÁVEL (TL431A)

Esta implementação é bastante utilizada para reposição do Zener no projeto por um regulador Shunt, principalmente nas situações em que se necessita maior precisão, escolha da tensão e menos resistência interna.

O regulador shunt é baseado em um amplificador operacional interno, que dependendo dos resistores conectados, transmite uma tensão diferente à saída.

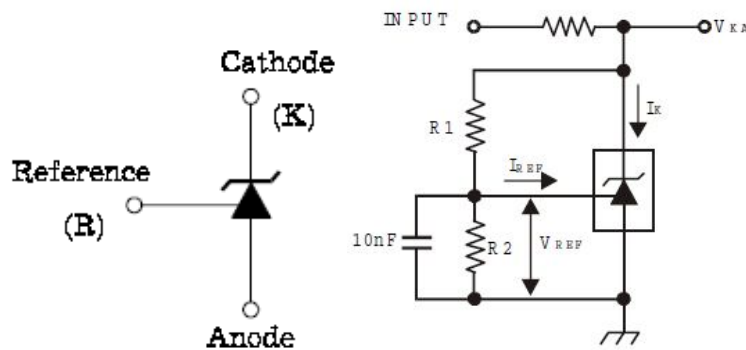


Figura B-1 (esquerda): Modelo de Referência do TL431

Figura B-2 (direita): Modelo Elétrico para ajuste de Tensão

(Fonte: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/L/4/3/TL431A.shtml)

A equação para tensão de saída é dada pela fórmula:

$$V_{KA} = V_{REF} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right) + I_{REF} R1$$

Embora seu preço seja maior, o TL431A é bastante preciso, escolhidas as resistências corretas e possui flexibilidade para alteração de valores. Pode ser útil para implementação dos reguladores de tensão para as duas tensões requeridas pelo Tuner (2,5V e 3,3V).