

Problema 4: "NOME DO PROBLEMA AQUI E EM UMA FIGURA AI"

Turma P04

¹MI - Projetos de Circuitos Digitais, Período 2015.1

Tutor: Marcos Paz

Curso de Engenharia de Computação

Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Resumo. *O presente relatório descreve o processo de resolução do terceiro problema do MI - Circuitos Digitais, da supracitada turma, no período de 2015.1, na Universidade Estadual de Feira de Santana. O problema propôs, dado o sucesso dos projetos pretéritos, que os estudantes desenvolvessem um protótipo do jogo Batalha Naval em FPGA, tomando como base o protótipo do controlador para matriz de LED, sendo que a comunicação com este novo circuito deveria acontecer através de um computador pessoal utilizando o conceito de comunicação serial, tornando o projeto a ser desenvolvido, mais confiável em relação a transmissão de dados.*

1. Introdução

Hoje em dia cresce, substancialmente, a ampla utilização de jogos no segmento lúdico de simulação 2D. Estes são utilizados em diversas áreas conhecidas, tendo uma mais elevada utilização na educação. Além do papel que os mesmos podem fornecer à educação, podem servir, também, única e exclusivamente como forma de entretenimento entre os mais jovens, bem como para o público mais adulto. Um exemplo destes jogos, é famigerado Batalha Naval. Sendo no Brasil no ano de 1988, o jogo batalha naval é um dos jogos de maiores sucessos entre o público mundial. Em sua forma mais rústica, dois adversários desenhavam em folhas de papel, navios posicionados em um mar imaginário quadriculado, formando uma grade. Todavia, no contexto atual, além de encontrar versões deste jogo de maneira similar aos seus primórdios, encontra-se, também, aplicativos para diversas arquiteturas que executam o mesmo processo, facilitando assim a sua disseminação entre as pessoas.

Além da existência, como visto, deste tipo de jogo na forma de aplicativos móveis, existe a possibilidade, também, de desenvolvê-lo utilizando circuitos digitais, visando a criação de um jogo lúdico de simulação 2D. É de se notar, que para desenvolvê-lo, faz-se necessário utilizar um conceito muito importante na eletrônica digital, a saber, memória RAM. A criação deste tipo de jogo, traz diversas vantagens para o empreendedor que o desenvolve, justamente pelo fato do mercado de jogos está sempre em constante expansão. lembrando que hoje em dia, aplicações envolvendo a tecnologia digital tem ampla aceitação no mercado, o ser humano necessita de recursos tecnológicos, com forma também de pertença, e inclusão no mundo global tecnológico.

Desta forma, observando a mudança atual do mercado, principalmente no que diz respeito a alta receptividade em relação a jogos eletrônicos, o grupo Inova Digital Bahia S.A resolveu adaptar o projeto desenvolvido anteriormente, para que o mesmo

funcionasse como uma espécie de jogo Batalha Naval, seguindo um modelo de simulação 2D. Sendo que este novo protótipo deveria ser controlado remotamente, a partir de um computador pessoal, enviando os dados por meio de canal de comunicação serial. Neste jogo, dois modos estarão disponíveis, o modo de gravação e o modo de jogo propriamente dito, cada modo contendo suas especificações e características próprias, as quais serão descritas nas seções posteriores.

É importante lembrar, que para desenvolver este projeto, foram utilizados além dos recursos já conhecidos, fez-se uso também de Máquinas de estados, registrador de deslocamento, porta serial, protocolo de comunicação RS-232, conversores de níveis elétricos e, por último, mas não menos importante, Software para comunicação com Hardware.

2. Fundamentação Teórica

Na seção que segue, serão descritos os conceitos utilizados para resolução do problema proposto, frisando os conceitos que foram de fundamental importância para solucionar o mesmo, tendo contribuição de maneira direta ou indireta.

2.1. Máquinas de Estados

Em se tratando de Circuitos Digitais, diversos dispositivos têm uma ampla importância, dentre estes dispositivos temos os conhecidos contadores, os quais segundo[Tocci Ronald 1997] são Máquinas de estados específicas. Floyd, por sua vez, vai mais adiante, e fala que Máquinas de estados ou circuito sequencial é um circuito que consiste de uma seção de lógica combinacional e uma seção de memória (flip-flops)[Floyd 2011]. Na figura 12 podemos observar o circuito típico para uma máquina de estados. Vale acrescentar que a quantidade de estados que uma máquina pode interpretar é diretamente ligada a quantidade de Flip-Flop, a quantidade de estados pode ser obtido fazendo 2^n , sendo n o número de Flip-flops.

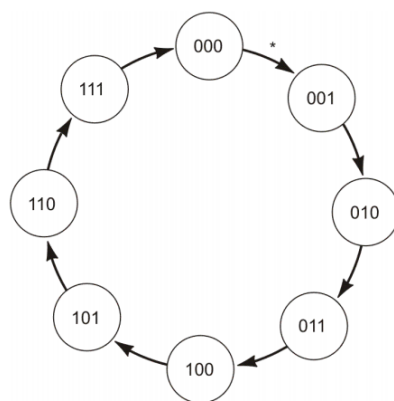


Figura 1. Diagrama de estados de um contador de 3 bits[Floyd 2011]

Existem basicamente, dois modelos de máquinas de estados, a saber, máquina Moore e máquina Mealy. Na máquina Moore, a saída depende única e exclusivamente dos seus estados atuais, enquanto na máquina Mealy além de depender dos seus estados atuais, a saída depende, também, das variáveis de entrada naquele instante. Na figura 2 podemos observar o diagrama de transição de estados para uma máquina Moore, já na

figura 3 temos o diagrama para uma máquina Mealy. É importante notarmos, através dos diagramas, a diferença referente a saída de cada máquina.

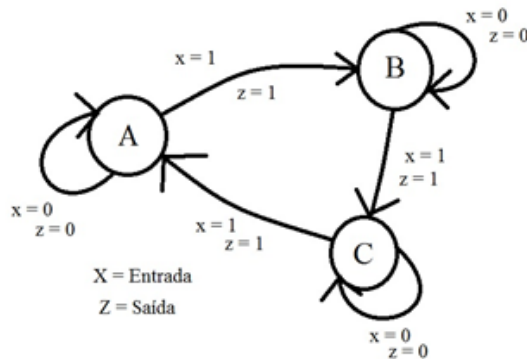


Figura 2. Exemplo de diagrama de estados usando uma máquina Mealy

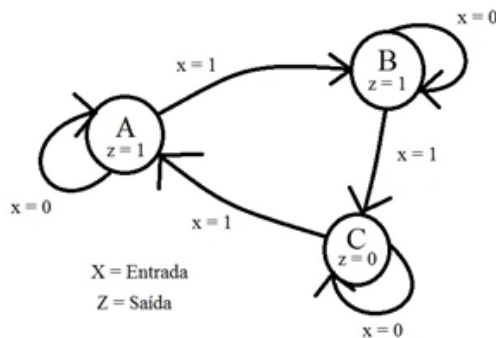


Figura 3. Exemplo de diagrama de estados usando uma máquina Moore

2.2. Flip-Flop T

Além dos Flip-Flops até o momento estudados, temos na literatura, outro Flip-flop que é amplamente utilizado, qual seja, o Flip-flop T. Na figura 4 podemos analisar o bloco lógico e a tabela verdade para este Flip-Flop. Quando a entrada T estiver em estado alto, o flip-flop T, onde T significa *toggle*, comutará quando o *clock* for aplicado. Se a entrada T for baixa, o flip-flop mantém o valor do seu estado. Vale lembrar, que o Flip-flop T pode ser obtido utilizando um Flip-flop J-K, basta conectar as entradas J e K em nível lógico alto de maneira intermitente.

2.3. Registrador de Deslocamento

No universo dos circuitos digitais, principalmente no que diz respeito aos Flip-Flops, encontramos diversas aplicações. Uma, das várias aplicações é na forma de registrador de deslocamento, os quais são amplamente utilizados hoje em dia no desenvolvimento de circuitos robustos. Segundo [Floyd 2011] os registradores de deslocamento consistem de arranjos de Flip-Flops e são importantes em aplicações que envolvem o armazenamento e a transferência de dados em sistemas digitais. É importante esclarecer, que o funcionamento do registrador de deslocamento é diferente de um contador comum, ou seja, ele não tem uma sequência específica de estados, apesar de em alguns casos poder ser utilizado como tal. Na figura 5 podemos ver um circuito típico para um registrador de deslocamento de quatro bits com entrada e saída serial de dados.

[Floyd 2011] uma vez armazenados os dados, cada bit aparece em sua linha de saída respectiva e todos os bits são disponibilizados simultaneamente, em vez de um bit de cada vez como no registrador com saída serial. Na figura 7 podemos ver uma exemplificação para este circuito. Notem que neste tipo de registrador a saída de cada estágio está disponível.

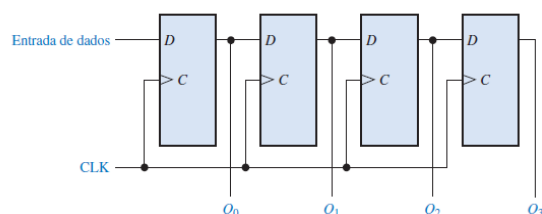


Figura 7. Registrador Serial-Paralelo

2.5. Comunicação Serial

No contexto computacional, temos duas formas de comunicação principais, são elas: comunicação serial e comunicação paralela. Cada uma com suas vantagens e desvantagens. Na comunicação paralela os bits são transferidos de maneira simultânea, conferindo para este tipo de comunicação a vantagem de rapidez e simplicidade de interface, contudo essa mesma vantagem acaba gerando algumas desvantagens, pois há um maior número de conexões, o que pode gerar ruído, perda de sincronismo além de um custo maior. Já na comunicação serial os dados são transferidos bit a bit, conferindo a vantagem de se ter menos fios, ou seja, baixo custo, além de ser capaz de transmitir dados em distâncias maiores. Contudo, nesta forma de comunicação, justamente por haver apenas um fio que transmite os dados, ela acaba sendo mais lenta, e com um grau de complexidade maior. Todavia, apesar das desvantagens da comunicação serial, a mesma se mostra mais robusta e mais viável, a ser aplicada em sistemas onde a confiabilidade dos dados são importantes. Assim, esta subseção tratará especificamente deste tipo de comunicação.

2.5.1. Transmissão de Dados

Antes de falarmos acerca de como ocorrer a transmissão de dados de forma serial, é importante lembrar que existe diversas interfaces que empregam este tipo de comunicação, entre as interfaces mais antigas estão as portas DB9 e DB25, as quais podem ser encontradas nos computadores mais antigos. Na figura 8 temos um exemplo para estas duas portas. Cada pino nestas portas tem uma determinada função, podendo variar de acordo com o seu tipo. Na figura 9 podemos ver a função de cada pino na porta DB9.

Na maioria das aplicações, a comunicação serial acontece de forma assíncrona, onde geralmente se tem 11 bits sendo transferidos. Um desses bits é o *start bit*, o qual notifica um receptor que um novo dado serial está disponível, seguido pelos bits de dados, um bit opcional de paridade *parity* e um ou mais bits de parada *stop bits* [Markos 2006]. Percebam que o número de bits de paridade, de parada podem variar, dependendo apenas do padrão de transmissão escolhido pelo projetista. Na figura 10 pode-se analisar esta forma de comunicação de maneira mais concreta. Vale acrescentar, que enquanto o bit de



Figura 8. Portas DB9 e DB25, interfaces seriais encontradas em computadores antigos.

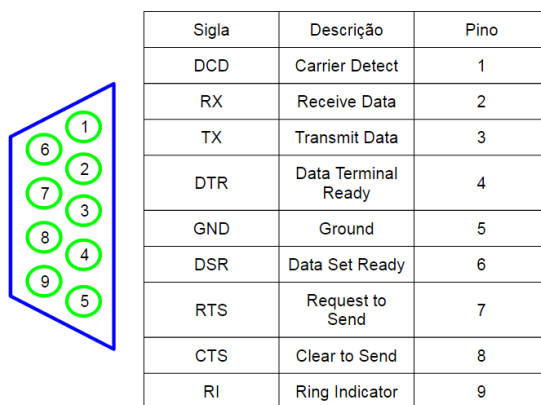


Figura 9. Funcionalidades dos pinos presentes na porta DB9

parada se manter em nível alto, os dados não estarão sendo transmitidos, e sim, apenas, quando ocorrer a mudança de estado do nível lógico alto para baixo, caracterizando assim, o bit de início, ou *start bit*.

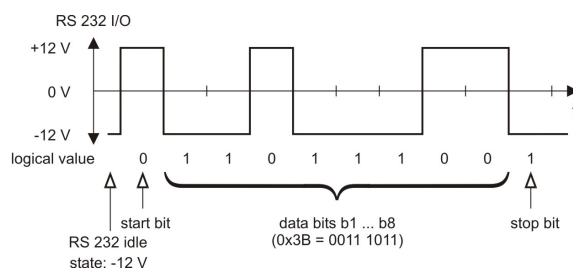


Figura 10. Características de uma transferência de dados serial.

Cada dispositivo que emprega a comunicação serial, tem uma determinada taxa de velocidade, sendo que para se referir a velocidade de transferência devemos usar o termo bps *bits-per-second*, ou seja, bits por segundo. Em alguns equipamentos, costuma-se chamar esta taxa como *baud*. Desta forma, a expressão 9600 bps é equivalente a 9600 bauds.

2.5.2. Padrão RS-232

Segundo (<http://www.c2o.pro.br/automacao/x834.html>) RS-232 é um padrão definido pela *EIA-Eletronic Industries Association* para os dispositivos usados para comunicação serial. Este padrão está disponível em três versões, quais sejam, (A, B e C). Cada um especifica uma faixa de voltagens para os níveis ligado e desligado. Por exemplo, na

versão RS-232 para representar nível lógico alto utiliza-se as tensões de $-3V$ a $-12V$, enquanto para representar nível lógico baixo é utilizada tensão na faixa de $+3V$ e $+12V$. É importante notar que a representação de nível lógico alto e nível baixo nesse padrão não utiliza o modelo convencional de tensão. Vale lembrar que este padrão é utilizado majoritariamente nas portas *DB9* e *DB25*.

2.5.3. Conversor de nível MAX-232

Os dispositivos eletrônicos utilizam níveis de tensão diferentes para identificar nível lógico baixo e nível lógico alto, dependendo apenas da tecnologia que está sendo empregada. Desta forma, quando se vai utilizar a porta serial do computador pessoal para se comunicar com algum dispositivo controlador, tem-se que analisar o padrão que o mesmo utiliza, pois a depender das especificações, será necessário fazer a conversão do nível. Por exemplo, vamos supor que queremos fazer uma comunicação entre o computador pessoal através da porta serial, com uma *FPGA*. No entanto, a *FPGA* utiliza a tecnologia *TTL*, ou seja, $0V$ a $0,8V$ representa nível lógico baixo e $2V$ a $5V$ representa nível lógico alto. Percebe-se, assim, uma incompatibilidade entre o padrão RS-232 e o *TTL*, desta forma é necessário fazer a conversão. Todavia, existe alguns dispositivos que tem a capacidade de fazer essa conversão, um deles é o MAX-232, o qual faz a conversão entre os níveis utilizados pelo padrão RS-232 para *TTL*, e vice-versa. Na figura 11 podemos ver uma configuração comum utilizando um conversor MAX-232.

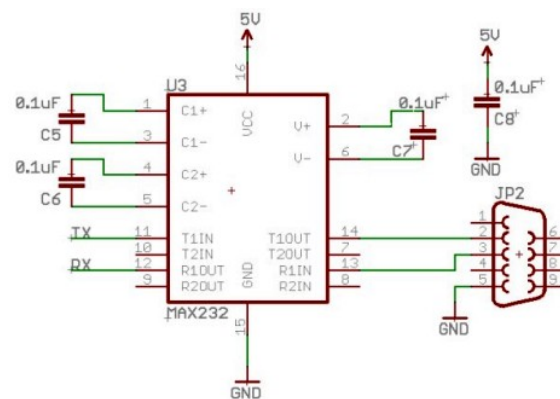


Figura 11. MAX-232: Conversor de RS-232 para TTL.

2.5.4. Software de comunicação

Para poder coletar os dados diretamente do usuário e enviá-los para o circuito, os mesmos precisam passar por um tratamento. Entre o caminho percorrido está abrir a porta de comunicação, converter os dados coletados por o usuário em binário e, finalmente, enviá-los através do *DB - 9*.

Para ajudar as realizar as tarefas correspondentes ao manuseio de permissões e envio de dados, foi utilizada a biblioteca *RS232*, construída em linguagem C e disponível e documentada em [http : //www.teuniz.net/RS - 232/](http://www.teuniz.net/RS-232/).

3. Metodologia

Utilizando-se, mais uma vez, da base teórica fornecida pela metodologia *PBL*, os alunos componentes da turma T04 iniciaram as sessões destinadas a solução do problema com a leitura do mesmo em duas etapas, uma individual e outra coletiva. Tendo como objetivo a detecção inicial de dúvidas, fatos importantes relacionados ao problema e ideias de soluções, o *brainstorm* inicial ajudou a identificar as principais características do problema, bem assim como ter uma ideia de como iniciar o desenvolvimento do mesmo.

Os membros da sessão, solucionando as questões um dos outros quando possível durante o processo, buscaram tomar decisões de projeto para formalização das obrigações, analisando fatores positivos e negativos das soluções propostas, optando pela solução que fosse mais simples e que estivesse de acordo com o problema, de acordo com a visão dos alunos. Com esse método deu-se início a construção da solução do problema 4 do MI - Circuitos Digitais, começando pela formalização e definição de padrões de projeto e de um diagrama que as mostrasse aplicadas ao circuito.

3.1. Decisões de Projeto

Antes de iniciar a implementação do projeto em si, é necessário traçar o caminho a percorrer durante todo o processo de solução do problema. Essa metodologia foi adotada pelos membros da sessão após algumas decisões de projeto que não deram o resultado esperado nos problemas anteriores, causando incongruências entre os módulos projetados entre diferentes membros da turma.

Dado o sucesso da abordagem no problema anterior, foi de comum acordo que a turma deveria modularizar o problema e dividir tais módulos entre pequenos subgrupos, sendo que cada subgrupo deveria enviar um pequeno relatório contendo todas as informações necessárias para a elaboração do mesmo, para conscientizar os outros alunos do processo de construção, além da descrição do bloco na ferramenta EDA *Quartus II 9.0*. Para garantir que, quando fossem unidos, todos os blocos funcionassem, a turma elaborou um diagrama completo do problema, estabelecendo padrões para cada segmento.

3.2. Elaboração do Diagrama

Iniciado na primeira sessão do problema 4 e finalizado na terceira sessão do mesmo problema, o diagrama teve como objetivo fazer com que todos os alunos tivessem consciência plena do funcionamento do circuito, da entrada à saída. Descrevendo as relações entre os blocos e a função, a quantidade de entrada e a quantidade de saídas de cada um deles e, também, padrões de nomenclatura, o diagrama descreve o que cada subgrupo deve fazer para que, quando combinadas, as frações do problema resultem em um circuito funcional e dentro da perspectiva do problema.

O resultado desse processo de descrição em alto nível do projeto pode ser conferido na figura 12, que destaca também as tarefas de cada subgrupo. Por exemplo, o subgrupo vermelho é responsável pela elaboração dos módulos correspondentes ao *comparador* e *Bloco do Mux-Coordenada*.

3.3. Memórias RAM

Como explicitado nas regras determinadas pela turma, o jogo será composto de 15 jogadas de preenchimento do tabuleiro mais 20 jogadas na qual o jogador tentará acertar o barco

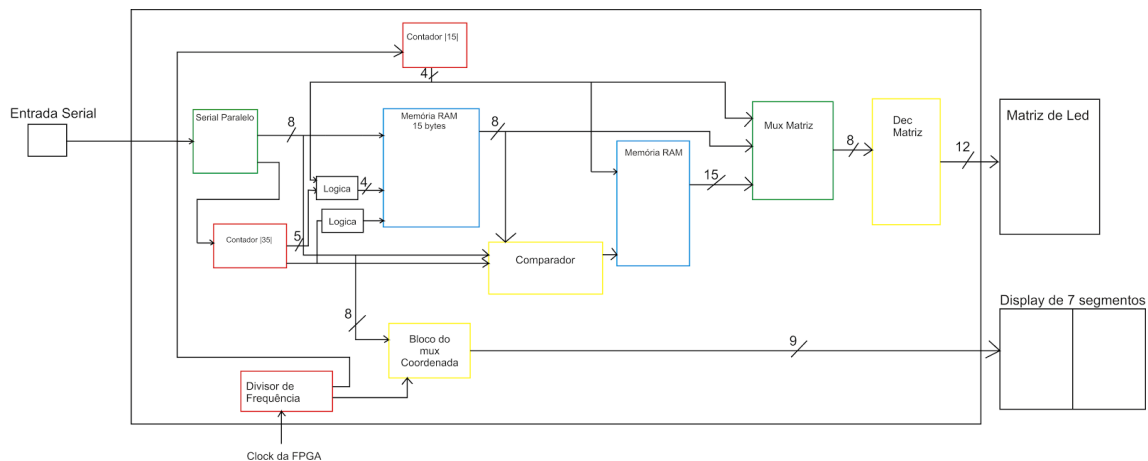


Figura 12. Diagrama de blocos do Problema 4: [COLOCAR NOME DO PROBLEMA]

do oponente. A partir desse dado, é perceptível que precisam ser armazenados 15 posições diferentes, sendo cada uma correspondente a um pixel de um barco que foi inserido no tabuleiro. Utilizando a codificação de 8 bits por coordenada, sendo 4 bits correspondentes a linha e outros 4 correspondentes ao pixel escolhido. A partir dessas informações, chega-se a conclusão que a célula da memória RAM deve ter 1 byte, e que a memória deve conter 15 dessas células.

Tendo em vista o mercado e a praticidade para uso em grandes escalas, a equipe resolveu construir uma memória com 16 células de 1 byte. Tal decisão foi tomada partindo dos princípios que o método de endereçamento da mesma não seria alterado, mas a 16ª célula ficaria ociosa. Porém, por ser uma potência de 2, tal memória pode ser ligada em cascata de modo que um conjunto das mesmas possa, com facilidade, originar uma memória das capacidades comuns e requisitadas do mercado, como 512mb, 1gb, 4gb e entre outras.

Diferentemente do problema anterior, no Problema 4, o endereçador de memória foi integrado na mesma, objetivando uma maior congruência de projeto e uma visão mais limpa e ampla da totalidade do mesmo. Além dessa característica, como pode ser visto na figura 13 a memória elaborada conta com 8 bits de entrada, um bit de clock, um bit de *clear*, um bit seletor R/\overline{W} e 4 bits de endereçamento. Essa última característica segue o padrão crescente de 0 a 15, ou seja, o endereço 0 corresponde a primeira célula de memória, o 2 a segunda e assim por diante.

3.3.1. Célula de Memória

Para elaborar o item anterior, fez-se necessária a elaboração de uma unidade menor de memória, sendo esta a unidade básica utilizada no projeto, 1 byte. Em suma, cada célula de memória do tipo demonstrado na figura 14 funciona como uma miniatura da memória anteriormente citada, porém só possui um bit de endereçamento, uma vez que só existem duas possibilidades: estar ou não estar selecionada.

Buscando melhorar o desempenho da memória, em suas células foram implemen-

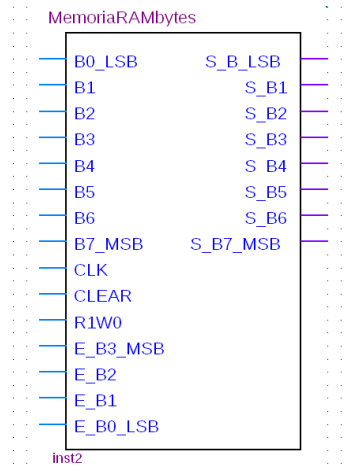


Figura 13. Bloco lógico da Memória Ram na EDA

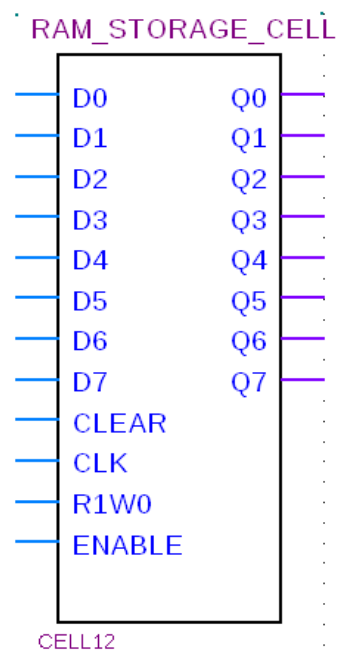


Figura 14. Bloco lógico da Memória Ram na EDA

tados diferentes mecanismos, um deles permite que a mesma seja ligada, ou desligada completamente, já o outro faz com que a memória só seja gravada uma única vez, evitando possíveis dados duplicados e alteração indevida dos mesmos. O segundo mecanismo pode ser visto na figura 15. Esse mecanismo é uma máquina de estados de Moore que está representada na figura 16. O outro mecanismo corresponde a equação de excitação de um registrador do tipo T para as variáveis dadas. T deve mudar de estado quando sua saída Q e sua entrada I forem diferentes, e, além disso, a Z do mecanismo anterior deve estar em nível lógico 1, ou seja: $T = Z(Q \oplus I)$.

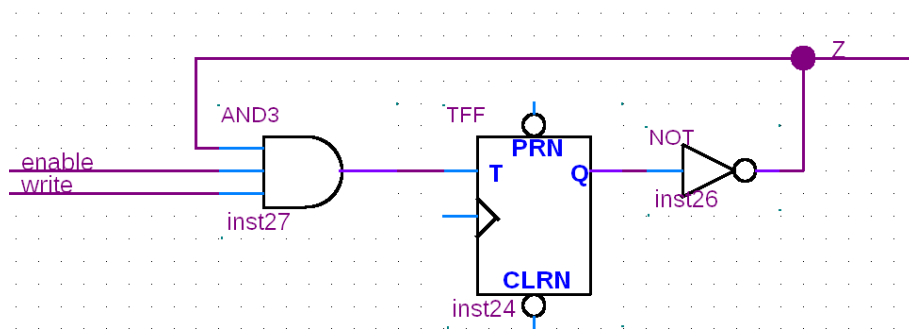


Figura 15. Máquina de estados para máquina de uma única ação.

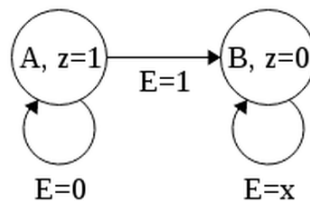


Figura 16. Diagrama de estados para máquina de uma única ação.

3.3.2. Comunicação Serial

3.4. Transmissão de Dados

3.5. Unificação dos blocos em um projeto

Diferentemente do problema anterior, no problema 4 a tarefa dada como prioridade a um subgrupo, assim como a tarefa de refatoração do circuito e montagem do cabo de transmissão foram dados como prioridades a outros grupos. Apesar de estarem responsáveis, o respectivo grupo não tirava de ninguém a responsabilidade de montar por si só o circuito novamente, em busca de aprender por inteiro o funcionamento do mesmo.

Ao receber os blocos, não foi difícil montá-los em um único projeto, uma vez que, semelhante ao problema anterior, teve-se ao lado um diagrama com todas as conexões e padrões de cada unidade lógica ali presente, e, além disso, todas já estavam devidamente testadas, eliminando chances de haverem problemas relacionados ao mal funcionamento de alguma das unidades. Feita a montagem, a mesma foi disponibilizada para o grupo para análise e verificação de erros. Nenhum erro foi apontado.

3.6. Refatoração do circuito na protoboard

Para poder comportar a transmissão serial, o circuito físico precisava ser modificado, adicionando suporte a um conversor de tensão, alguns capacitores e um cabo de transmissão serial. Além disso, muitos dos componentes do problema anterior puderam ser retirados, muitos deles relacionados a entrada de dados, tais como o DIP Switch e resistores de *pull – down*. Um dos itens adicionados a protoboard foi o MAX-232, um circuito que converte a tensão vinda da porta *DB9* do computador para a tensão na faixa TTL. Para funcionar corretamente, o mesmo foi adicionado ao circuito seguindo as instruções da figura 17

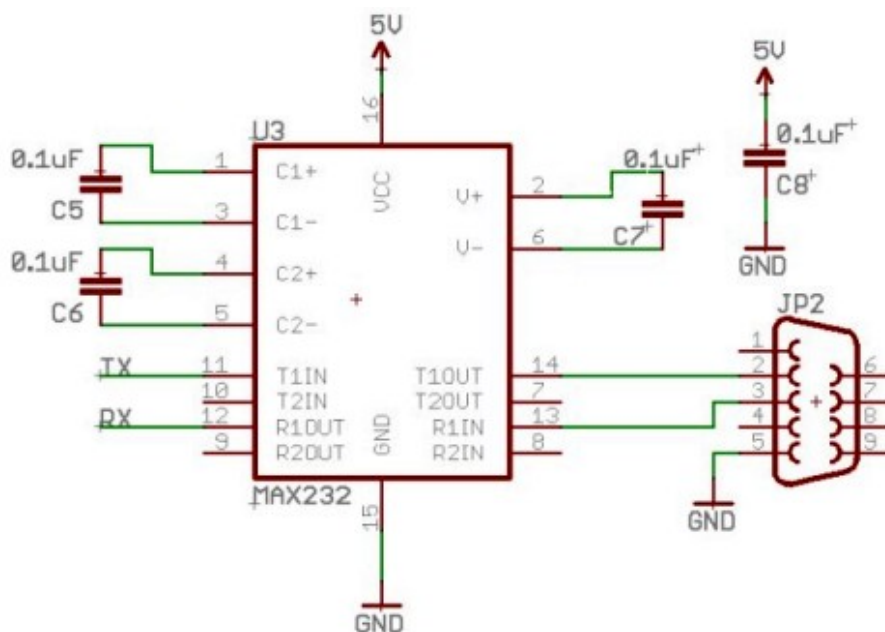


Figura 17. Circuito do MAX-232.

Para o cabo de comunicação, foi utilizado um cabo antigo e uma porta *DB9* fêmea. No *DB9* foram soldados fios nas entradas *TX*, *RX* e *GND*, mesmo sabendo que apenas a porta *TX* seria usada, uma vez que os dados seguiriam uma via única do computador para o circuito.

4. Discussões e resultados

Nesta sessão serão abordados os principais resultados obtidos, os testes realizados e, além disso, serão abordados alguns detalhes que dizem respeito ao circuito lógico.

4.1. Testes lógicos no ambiente Quartus II

Passados como tarefas para os subgrupos, os testes lógicos foram realizados bloco-a-bloco, tentando diminuir ao máximo a chance de qualquer erro de implementação de lógica. Para os testes da memória RAM de 15 bytes e do conversor serial-paralelo, dado o fato que esses são os únicos itens que o grupo não trabalhou ou conhece na escala exigida pelo problema.

4.1.1. Testes da Memória RAM

Inicialmente, foi feito um conjunto de testes básicos para verificar se a memória estava sendo capaz de distinguir os momentos de gravação/leitura e gravando apenas um dado por célula. Para isso, foi fixado uma célula(no caso da figura 18, a do endereço $EB0 = 0$, $EB1 = 0$, $EB2 = 0$, $EB3 = 0$). Avaliando os resultados, percebe-se uma constante nas saídas 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 que equivalem aos primeiros valores enviados no modo de gravação, apontando o sucesso do teste.

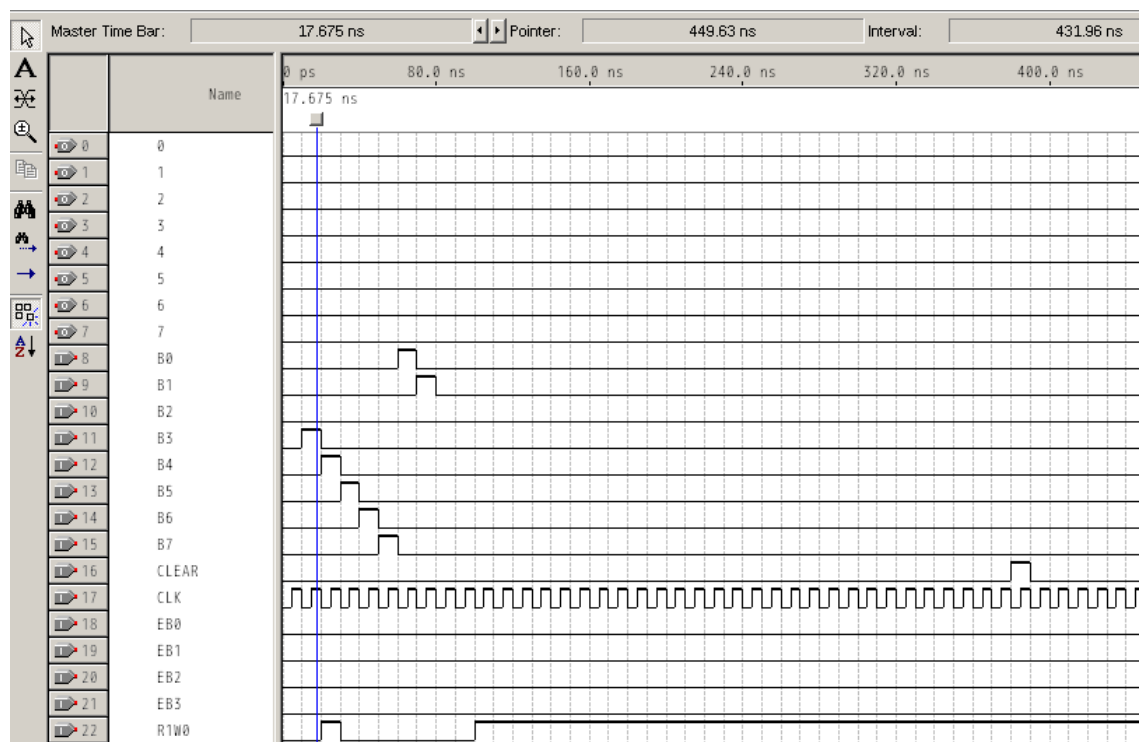


Figura 18. Teste de persistência e modo de operação

Prosseguindo os testes, o teste anterior foi repetido em uma escala de variação maior e utilizando-se todos os endereços disponíveis da memória RAM. O esperado é que a saída equivallesse ao primeiro valor de entrada em cada uma das células, e para cada período de clock entre 1 e 15, as entradas deveriam equivaler as saídas quando a memória estivesse em modo leitura. Ou seja, se em loop de entradas constantes, quando for colocada em modo de leitura, a memória vai "imitar" as 16 primeiras sequências de entrada, como demonstrado com sucesso no teste descrito na figura 19.

4.2. Funcionamento do Circuito

Segundo os requisitos do Problema 4, o usuário deve entrar com coordenadas em um software que se encarregará de direcionar os dados para o circuito, no qual o tratamento de dados será feito. A partir desses dados, existem dois momentos:

- Modo Planejamento: O usuário insere 15 coordenadas nas quais deseja que fiquem seus barcos, inicialmente todos os pixels da matriz estão apagados.

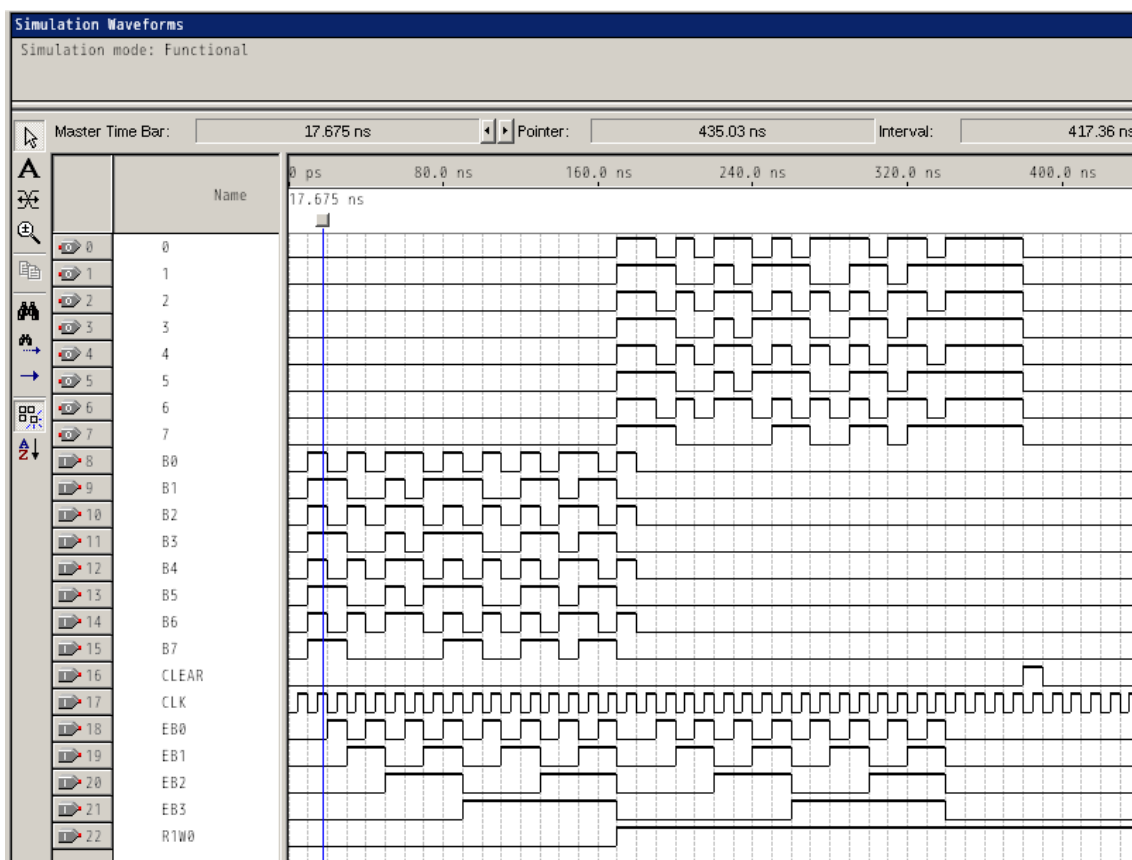


Figura 19. Teste de persistência e modo de operação

- Modo Jogo: O usuário tenta acertar os pixels que representam barcos, caso acerte, o pixel acende. O número máximo de tentativas é de 20, e caso não consiga encontrar todos os barcos, o jogo é encerrado.

4.3. Testes práticos

Antes de realizar os testes do circuito na Protoboard, fazia-se necessário fazer a demarcação dos pinos adicionais na ferramenta Quartus II e gravar o circuito lógico do mesmo na FPGA disponível no laboratório. Dada significativa queda de uso dos pinos do problema 3 para o problema 4, não foi necessária a demarcação de pinos e os menos foram reaproveitados. Ligados os novos componentes, o circuito foi ligado e a gravação foi feita.

Dispondo-se de todas as ferramentas necessárias, o teste foi realizado introduzindo-se todas as coordenadas possíveis via software...

5. Conclusão

6. Referências

Nessa seção constam os trabalhos utilizados como base teórica que foram necessários para chegar a solução descrita nesse relatório.

Referências

Floyd, T. L. (2011). *Digital Fundamentals, 10/e*. Pearson Education India.

Markos (2006). Portas Seriais e Comunicação Serial. <http://www.c2o.pro.br/automacao/x834.html>. [Online; acessado em 12-Outubro-2015].

Tocci Ronald, J. (1997). Digital systems principles and applications.