



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Graduação em Ciência da Computação

**UM SIMULADOR PARA O PROTOCOLO ANTICOLISÃO CMEBE
PARA SISTEMAS RFID**

Hélio Vicente de Brito Júnior

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Recife

01 de julho de 2011

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Hélio Vicente de Brito Júnior

**UM SIMULADOR PARA O PROTOCOLO ANTICOLISÃO CMEBE
PARA SISTEMAS RFID**

Trabalho apresentado ao Programa de Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Paulo André da Silva Gonçalves

Recife

01 de julho de 2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, pelo privilégio da vida a mim proporcionado. Gostaria de agradecer também ao meu pai e minha mãe, por todo amor e carinho. Eles que sempre me ajudaram e deram suporte às minhas decisões, sejam elas fáceis ou difíceis.

Sou grato também ao professor Dr. Paulo Gonçalves, pela paciência e orientação nesta monografia. Obrigado!

Não poderia deixar de agradecer à Universidade Federal de Pernambuco e o seu corpo docente, pela oferta do conhecimento que me proporcionou mais essa vitória em minha vida.

Gostaria de agradecer aos meus companheiros e amigos da SUATI, que desde que vem me ajudando na minha formação profissional.

E finalmente, agradecer a aqueles que fizeram essa caminhada de quatro anos e meio divertida em vários momentos: Bruno Monteiro, Bruno Almeida, Denys Farias, Estácio Ferraz, Igor Oliveira, Leandro do Carmo, Lucas Ventura, Luís Filipe, Murilo Velozo e Ruan Carvalho e todos aqueles que não escrevi aqui, mas que foram muito importantes para que este sonho esteja se realizando.

“Tente dobrar um braço e ele resistirá. Mas convença uma mente a pensar como você deseja e terá conquistado um aliado.”

— Dan Brown

RESUMO

Sistemas de Identificação por Radiofrequência (RFID) estão cada vez mais evoluindo e se mostrando como uma ótima opção para sistemas que necessitam de uma identificação única de objetos, ou de uma comunicação simultânea e a distância entre várias fontes. Este trabalho realiza uma análise o funcionamento de protocolos DFSA. Também será abordado a ocorrência do efeito de captura em protocolos DFSA e seu impacto para este tipo de algoritmo. Dois algoritmos de estimativa, CMEBE e Vogt serão abordados e analisados. Por fim será desenvolvido um simulador para ambientes RFID utilizando estes dois algoritmos e suas funcionalidades e dificuldades serão analisadas.

Palavras-chave: RFID, DFSA, CMEBE, Vogt, Protocolos anticollisão

ABSTRACT

Systems Radio Frequency Identification (RFID) are increasingly evolving and showing how a great option for systems that require unique identification of objects, or a simultaneous communication and the distance between various sources. This paper makes an analysis of the functioning of DFSA protocols. Will also cover the occurrence of the capture effect and its impact DFSA protocols. Two estimation algorithms, CMEBE and Vogt will be discussed and analyzed. Finally will be developed a simulator for RFID environments using these two algorithms and their features and difficulties will be analyzed.

Keywords: RFID, DFSA, CMEBE, Vogt, anti-collision protocols

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização.....	2
CAPÍTULO 2 – CONCEITOS SOBRE RFID.....	4
2.1. Funcionamento	4
2.1.1. Etiquetas Passivas.....	5
2.1.2. Etiquetas Ativas	6
2.2. Padronização	7
2.2.1. ISO.....	8
2.2.2. EPCGlobal	8
2.3. Problemas	9
2.4. Resumo	9
CAPÍTULO 3 – ALGORITMOS ANTICOLISÃO.....	10
3.1. DFSA.....	10
3.2. Funcionamento	11
3.3. Efeito de captura	12
3.4. Resumo	13
CAPÍTULO 4 – VOGT E CMEBE	14
4.1. VOGT.....	14
4.2. CMEBE.....	15
4.3. Comparação	16
4.4. Resumo	16
CAPÍTULO 5 – IMPLEMENTAÇÃO DE UM SIMULADOR	18
5.1. Características	18

5.2.	Funcionalidades.....	18
5.2.1.	Gráfico do número de etiquetas	19
5.2.2.	Gráfico da variação da taxa de efeito de captura.....	19
5.2.3.	Gráfico de vazão	20
5.2.4.	Formato da saída	20
5.3.	Dificuldades.....	22
5.4.	Trabalhos futuros	23
5.5.	Resumo	23
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO		25

GLOSSÁRIO

CMEBE: Capture-aware Minimum Error Backlog Estimation, 2

DFSA: Dynamic Frame-Slotted ALOHA, 2

EPC: Electronic Product Code, 8

ISO: International Organization for Standardization, 7

OMC: Organização Mundial de Comércio, 7

RFID: Radio-Frequency Identification, 1

SIR: Signal to Interference Ratio, 12

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de um sistema RFID.....	4
Figura 2: Exemplo de etiqueta passiva.....	6
Figura 3: Exemplo de etiqueta ativa.....	6
Figura 4: Efeito de captura.....	12
Figura 5: Simulador.....	19
Figura 6: Configuração do gráfico do número de etiquetas.....	19
Figura 7: Configuração do gráfico da variação da taxa de efeito de captura.....	20
Figura 8: Configuração do gráfico de vazão.....	20
Figura 9: Gráfico do número estimado de etiquetas.....	21
Figura 10: Impacto da taxa de efeito de captura.....	22
Figura 11: Gráfico de vazão.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formato dos campos de saída do simulador.....	21
---	----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Sistemas de identificação por radiofrequência, conhecidos como RFID, estão se tornando cada vez mais conhecidos e aptos para uma adoção geral de sistemas que necessitam de uma identificação inequívoca de objetos de forma automática e rápida. Esta tecnologia, nos próximos anos, pretende mudar a forma de interação do homem com o meio.

1.1. Motivação

A tecnologia RFID (*Radio-Frequency Identification*) tem por objetivo auxiliar no controle, identificação e automatização de objetos ou pessoas. Ela é composta por diversas etiquetas eletrônicas que identificam o objeto e leitores que identificam essas etiquetas. As etiquetas possuem uma numeração única e através disso podem ser identificadas unicamente pelo leitor, que pode ainda possuir um banco de dados contendo mais informações sobre aquele objeto identificado.

Essas etiquetas substituiriam a atual forma de identificação por códigos de barra, pois ela permite a detecção de produtos em movimento, sem a necessidade de uma linha direta de visão entre o objeto e o leitor. Isso fez com que essa tecnologia se difundisse por toda a cadeia de suprimento de diversas empresas [2].

Diversas áreas de pesquisa em aplicações estão sendo feitas em todo o mundo, assim como pesquisas para aprimorar cada vez mais este tipo de sistema. Os principais objetivos pretendem tornar as etiquetas mais baratas, o que permitiria uma produção em massa, e uma melhoria na forma de detectar simultaneamente uma grande quantidade dessas etiquetas.

Esse segundo ponto vem sendo bastante discutido atualmente e seu principal foco de análise se dá no ato de evitar que as diferentes etiquetas atrapalhem o meio de detecção e tornem inviável a recepção do diferentes sinais.

Algoritmos anticolisão que permitam que etiquetas sejam interrogadas de forma confiável e eficientes são importantes para sistemas RFID[10]. É através deles que

conseguimos organizar o meio de recepção e detectar as diferentes etiquetas que podem estar competindo nele.

Sabendo das limitações de poder computacional, memória e energia das etiquetas, precisamos saber organizar bem as transferências de informações e precisamos fazer isso no menor tempo possível, evitando um gasto desnecessário. Para isso precisamos de um protocolo anticolisão eficiente, e uma classe destes protocolos é o DFSA (*Dynamic Frame-Slotted ALOHA*) que compartilha um ciclo de tempo de detecção em diversos *slots*, onde as etiquetas podem transmitir sua identificação. O problema dessa classe de algoritmos é que várias etiquetas podem acabar transmitindo ao mesmo tempo e isso pode provocar com que nenhuma delas consiga ser identificada com sucesso. Formas para se evitar que isso aconteça ainda vêm sendo bastante estudadas para melhorar o processo de identificação das etiquetas.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise sobre dois estimadores para o protocolo anticolisão DFSA, o recente algoritmo CMEBE (*Capture-aware Minimum Error Backlog Estimation*) e um mais antigo na área o Vogt. Para realizar análises em diversos cenários de forma simples sobre esses protocolos foi desenvolvido um simulador, que facilitou a comparação desses dois protocolos e facilitará análises futuras.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Estudar o funcionamento de sistemas RFID;
- Estudar e analisar protocolos anticolisão para sistemas RFID;
- Estudar e analisar o fenômeno do efeito de captura;
- Estudar e analisar os estimadores CMEBE e Vogt;
- Desenvolver e validar um simulador de sistemas RFID, implementando os dois algoritmos;
- Comparar os resultados dos dois algoritmos através do simulador.

1.3. Organização

Este trabalho está dividido em seis capítulos. O Capítulo 2 é uma descrição do funcionamento da tecnologia RFID, abordando os tipos existentes de etiquetas e falando

um pouco sobre o como está o processo de padronização de sistemas RFID. O Capítulo 3 é dedicado aos algoritmos anticóllisão existentes, falando um pouco desta necessidade e com foco na classe de protocolos DFSA e passando por problemas neles encontrados. O Capítulo 4 mostra um estudo comparativo de dois estimadores para o protocolo DFSA, o CMEBE, um algoritmo recentemente publicado, e o Vogt. Veremos como é o funcionamento destes dois algoritmos e em que ponto eles se diferenciam. O Capítulo 5 mostra como foi idealizado e construído um simulador para sistemas RFID utilizando esses dois algoritmos, serão mostradas as funcionalidades e facilidades deste simulador e os problemas encontrados durante seu desenvolvimento. O Capítulo 6 traz as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS SOBRE RFID

Para conseguirmos que os sistemas RFID venham a substituir os antigos códigos de barras e terem sua utilização difundida, precisamos considerar o custo de produção em massa de etiquetas e na identificação de grandes quantidades ao mesmo tempo. Esse capítulo apresenta o funcionamento dessa tecnologia, bem como a interação entre a etiqueta e o leitor. Serão expostos os padrões existentes, o que facilita na interação de etiquetas e diferentes fabricantes, e alguns problemas encontrados neste tipo de sistemas.

2.1. Funcionamento

Sistemas RFID utilizam radiofrequência para transmitir dados remotamente, dentro de algum intervalo de tempo, a partir de componentes especiais chamadas etiquetas.

RFID é semelhante à tecnologia de códigos de barra, mas utiliza ondas de rádio para transmitir dados entre as etiquetas, estes dados podem ser utilizados para diversos fins, como identificação automática de pessoas, bens ou outros objetos, equipamentos ou mecanismos de controle, etc. Em outras palavras, este é um processo de transmissão sem fios de informações de um objeto com etiqueta para o mecanismo de controle ou entidade de monitoramento do sistema, normalmente computadorizados.

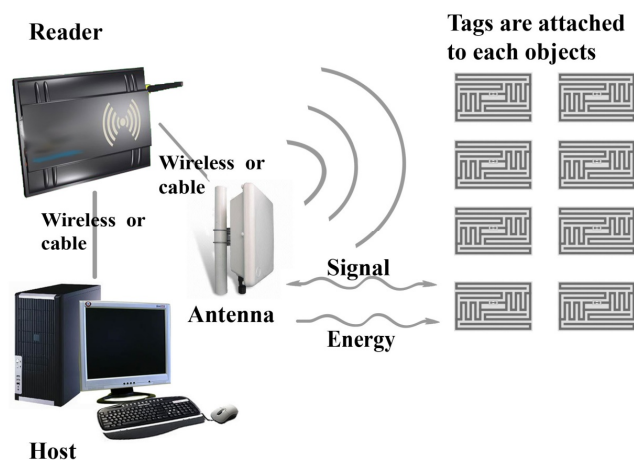


Figura 1: Componentes de um sistema RFID.

Um sistema RFID básico consiste de três componentes:

- Um leitor;
- Uma antena;
- Uma etiqueta programada eletronicamente com informações exclusivas.

Os leitores, antenas, etiquetas compõem as bases de um sistema RFID. Em algumas aplicações ainda existe um computador central de coleta que centraliza as leituras realizadas pelo(s) leitor(s) e realiza a filtragem e análise sobre os dados coletados.

O leitor é basicamente um transmissor e receptor de radiofrequência. Utilizando uma antena, o leitor captura os dados das etiquetas e em seguida passa os dados para uma central de processamento. O receptor além de receber transmissões vindas das etiquetas, também transmite sinais de respostas através da sua antena. Vale salientar que um leitor pode possuir uma ou mais antenas.

As antenas emitem sinais de rádio para ativar a etiqueta, ler dados e até para gravar dados nas etiquetas. A antena é o que faz a ligação entre as etiquetas e o leitor.

Uma etiqueta RFID é composta por duas partes básicas: um chip e uma antena. As informações são armazenadas no chip e transmitidas através da antena para um leitor. A antena permite que o chip receba energia e possa se comunicar, permitindo que a etiqueta possa trocar informações com o leitor.

De maneira resumida, sistema RFID é um sistema que transmite dados de um objeto qualquer, através de um meio não guiado, usando ondas de rádio[15].

As etiquetas podem existir em uma ampla variedade de formas e tamanho e podem ser divididas em duas categorias: etiquetas ativas e etiquetas passivas. As vantagens e desvantagens dos dois tipos serão mostradas na próxima sessão.

2.1.1. Etiquetas Passivas

As etiquetas passivas são aquelas que não possuem uma fonte de alimentação (uma bateria, por exemplo) incorporada na sua estrutura. A maioria das etiquetas populares funciona sem uma fonte de alimentação e conseguem a energia necessária para energizar seu circuito e transmitir as suas informações através das transmissões eletromagnéticas do leitor.

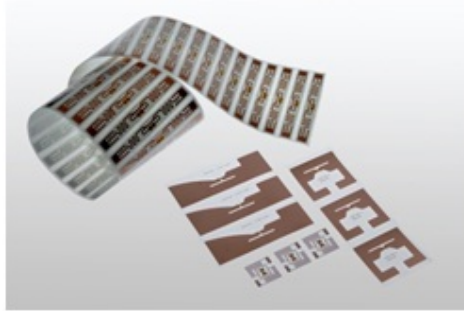


Figura 2: Exemplo de etiqueta passiva.

Para este tipo de etiquetas o leitor é o responsável por iniciar a comunicação, ou seja, a presença do leitor é obrigatória para que a etiqueta consiga transmitir suas informações.

A vantagem desse tipo de etiquetas é que são menores, mais leves e mais baratas que as ativas, além do mais oferecem uma vida operacional praticamente ilimitada. A questão do preço reduzido é o que vem permitindo que este tipo de etiqueta seja utilizado nas mais variadas aplicações. O contraponto é que elas têm um menor alcance de leitura quando comparadas com etiquetas ativas e necessitam de um leitor de alta potência. Por este motivo a sua distância de leitura varia de menos que 3cm a algo em torno de 9m[9].

2.1.2. Etiquetas Ativas

As etiquetas ativas são alimentadas por uma bateria interna e são tipicamente de leitura e gravação, ou seja, os dados de uma etiqueta podem ser modificados. Este tipo de etiqueta consegue iniciar uma comunicação enviando seu próprio sinal, sem necessitar da potência de um leitor para excitar seu circuito, ou criar seu sinal[13].



Figura 3: Exemplo de etiqueta ativa.

Ao contrário das etiquetas passivas, as ativas possuem um grande alcance de comunicação, existem etiquetas com capacidade de transmitir seu sinal a uma distância de 1km, mas devido a padrões e normas, a maioria só possuem um alcance de dezenas de

metro[13]. Mas devido à fonte própria de energia, elas são, em sua maioria, maiores que as etiquetas passivas, mas este tamanho tende a ficar indiferente com o avanço da tecnologia, diminuindo as etiquetas para algo em torno do tamanho de uma moeda[14].

Além do maior alcance, algumas outras vantagens deste tipo de etiquetas merecem ser lembradas, como a maior capacidade de processamento, devido a sua fonte própria de energia, e a maior capacidade de armazenamento de dados.

2.2. Padronização

Por se tratar de uma tecnologia de comunicação via rádio, RFID precisa de algumas normas de padrões para utilizar o espectro eletromagnético de diversos países. Além disso, um padrão favorece a popularização da tecnologia permitindo que diferentes empresas invistam em produtos RFID e que estes possam se comunicar.

Outro ponto interessante é que as normas internacionais são reconhecidas pela OMC (*Organização Mundial de Comércio*) como base para o comércio internacional e o seu atendimento significa contar com as melhores condições para ultrapassar eventuais barreiras técnicas[7]. Essas barreiras podem ser um empecilho para a adoção mundial de algum produto não padronizado.

Os padrões sobre sistema RFID ainda se encontram em processo de desenvolvimento devido aos seus diversos usos, mas eles têm sido produzidos para cobrir quatro áreas-chaves dentro do contexto das aplicações RFID:

- Padrões de identificação relacionados à codificação de informações contidas nas etiquetas;
- Protocolos de interface aérea que definem as regras de comunicação entre leitores e etiquetas;
- Protocolos de dados para o *middleware*;
- Padrões para testes, tendências e segurança[14].

Dentre as diversas organizações que investem e cooperam no desenvolvimento deste tipo de sistemas, duas merecem destaque a ISO (*International Organization for Standardization*) e a EPCGlobal Inc.

2.2.1. ISO

A ISO é uma das mais conhecidas entidades de padronização do mundo. Desde 1947 ela define padrões industriais e comerciais em todo o mundo[13]. Em sua série 18000 a ISO se envolveu na tentativa de padronização de sistemas RFID. Existem diversas partes da série 18000, mas no geral são padrões para identificação e gestão de itens, em sistemas que operam frequências em diferentes[23].

O padrão proposto pela ISO é algo bem genérico, sem se apegar a detalhes de implementação física, isso permite que a tecnologia evolua e continue seguindo as mesmas normas propostas. O foco destas normas está na comunicação sem fio e em todos os meios necessários para que ela ocorra com segurança, para isso existem normas para algoritmos anticóllisão, para a codificação dos dados, frequência e banda de comunicação.

2.2.2. EPCGlobal

A organização sem fins lucrativos, EPCglobal, desenvolveu um padrão amplamente aceito para a identificação de etiquetas RFID. O padrão EPC (*Electronic Product Code*)[22]. Este foi um componente crucial para o desenvolvimento de RFID. Em resumo, EPC é um código de identificação único que é embarcado na memória das etiquetas[21].

Este padrão abrange as interfaces de comunicação, o formato dos dados armazenados na etiqueta, o *middleware* e os dados armazenados sobre as etiquetas.

O EPCGlobal Geração 1 foi a primeira tentativa desta organização de tentar padronizar criando regras específicas para as comunicações entre leitores e etiquetas, mas ele se mostrou incompatível com o padrão criado pela ISO e limitado no sentido de que apenas permitia as etiquetas funcionarem como um código de barras, apenas armazenando seu identificador.

No entanto, em janeiro de 2005, a EPCglobal UHFClasse 1 Geração 2 foi submetida para a aprovação das normas ISO, sendo então compatível com o padrão ISO 18000-6[23] e superando as limitações e problemas encontrados na primeira geração, sendo possível haver consultas bidirecionais e mais informações poderam ser adicionadas nas etiquetas.

2.3. Problemas

Além dos problemas de existir uma norma única que possa ser seguida, e desta forma, organizar a forma de comunicação entre etiquetas e leitores de diferentes fabricantes, esta tecnologia ainda passa por outros problemas, problemas estes mais específicos que visam melhorar a comunicação no sistema.

Outros problemas interessantes nessa tecnologia estão relacionados com a segurança das informações nas etiquetas, pois informações sigilosas podem estar contidas e não queremos que qualquer leitor consiga decifrá-las, e problemas relacionados ao tamanho do sistema, se tivermos muitas etiquetas respondendo a uma solicitação do leitor iremos ter problemas para conseguir identificar os diferentes códigos recebidos. O primeiro problema não será o foco deste trabalho, entretanto no próximo capítulo, iremos abordar este segundo problema, mostrando possíveis soluções para ele.

2.4. Resumo

A composição de um sistema RFID é bastante simples, sendo composto apenas por um leitor, uma antena e as etiquetas que serão identificadas. As etiquetas armazenam seus identificadores e transmitem essa informação quando são solicitadas pelo leitor. Este por sua vez compara o identificador recebido com uma base de dados para adquirir maiores informações sobre a etiqueta identificada.

As etiquetas podem adquirir a energia para transmitirem suas informações através das transmissões realizadas pelo leitor podem ter sua própria reserva de energia, o tipo de etiqueta utilizada nas diferentes aplicações vai depender do objetivo e requisitos de distância, custo e manutenção do sistema.

A criação de um padrão para este tipo de sistema é de grande importância para o avanço desta tecnologia, nesse meio surgem duas grande organizações a ISO e a EPCGlobal que definem e regulam normas para sistema RFID. Mas há uma grande diferença entre essas duas organizações, enquanto a ISO apenas criou normas para a comunicação sem fio, a EPCGlobal foi mais além e define como devem ser as informações das etiquetas, até como deve ser o *middleware* do sistema.

CAPÍTULO 3

ALGORITMOS ANTICOLISÃO

Neste capítulo será apresentada a principal classe de protocolos utilizada para resolver os conflitos de comunicação de várias etiquetas simultaneamente, o DFSA. A seguir será mostrado um fenômeno existente que permite que ocorra a detecção de etiquetas mesmo quando várias transmitem ao mesmo tempo, o efeito de captura e que a consideração disso por parte dos protocolos baseados em DFSA pode auxiliar na velocidade de detecção das etiquetas.

3.1. DFSA

Durante o processo de identificação das etiquetas o leitor solicita o identificador de todas as etiquetas que estão ao seu alcance, mas dependendo da disposição das etiquetas e do alcance do leitor, pode acontecer de mais de uma etiqueta transmitir seus dados ao mesmo tempo, neste caso ocorre uma colisão dos sinais emitidos pelas duas etiquetas, isso faz com que o leitor não consiga entender as informações que lhe foram enviadas. A partir desse problema se faz necessária a utilização de algoritmos de anticolisão que consigam resolver os conflitos existentes entre as diferentes etiquetas tornando a comunicação viável.

Sabendo que sistemas RFID possuem limitações de processamento, memória e energia, podemos descartar os algoritmos padrões de troca de mensagens e reserva do meio de comunicação, e os algoritmos que se utilizam da análise do canal de comunicação, logo percebemos que se faz necessária uma classe diferente de algoritmos anticolisão, algoritmos específicos para sistemas RFID[8].

Nesse contexto surgiram várias classes de protocolos anticolisão para sistemas RFID e um dos principais é o DFSA.

A classe de algoritmos DFSA surgiu como uma melhoria do ALOHA. O ALOHA é um algoritmo anticolisão simples, onde toda etiqueta vai transmitir seu identificador assim que entrar no alcance do leitor, sem nenhuma sincronização e sem detecção de colisão. O problema desse algoritmo é que acaba havendo muita colisão, podendo esta ser em

qualquer parte de uma transmissão, pois não há uma sincronização das etiquetas e nem há uma forma das etiquetas identificarem que houve colisão.

Sabendo dos problemas encontrados no ALOHA e em outras versões baseadas nele, surgiu o DFSA com uma idéia parecida com o ALOHA, mas com diversas melhorias (algumas já adquiridas de outras melhorias do ALOHA), como:

- O tempo de transmissão foi dividido em *frames* e estes divididos em *slots*;
- Uma etiqueta só pode transmitir no início de um *slot*;
- O tamanho do *frame* pode variar de acordo com a interação e deve ser próximo da quantidade de etiquetas;
- Para isso, é necessário saber ou estimar a quantidade de etiquetas que ainda não foram identificadas no ambiente;
- Para isso, se utiliza as informações coletadas no *frame* anterior: quantidade de *slots* vazios, de *slots* com sucesso e de colisão.

3.2. Funcionamento

Este protocolo vem recebendo recentemente grande atenção na literatura[5][6][10][18]. Nesse protocolo o leitor divide o tempo em *frames* e estes são divididos em *slots*. No início de cada *frame* as etiquetas são requisitadas a escolher um dos *slots* para transmitirem seus identificadores até que consigam ser identificadas pelo leitor.

Para este tipo de protocolo se faz necessário um estimador da quantidade de etiquetas que tentaram transmitir no *frame* para que se possa estimar a quantidade de *slots* que devem estar disponíveis para o próximo *frame*. Um dos problemas existentes e foco das maiores divergências entre os diversos algoritmos é a forma de como estimar a população de etiquetas através de uma função que relaciona as informações obtidas pelo leitor no *frame* anterior.

Em DFSA, o leitor pode modificar o comprimento do *frame* a cada ciclo, ou reiniciá-lo, seguindo algum critério. No entanto, o número de etiquetas que estão no alcance do leitor geralmente varia de forma aleatória, portanto, o número de etiquetas que competem em cada ciclo é desconhecido, e o ajuste do comprimento do *frame* não é trivial. O leitor tem que adivinhar o número de nós na competição por meio de algum processo de estimação [3].

Sabendo disso, o objetivo principal do DFSA se resume a determinar o tamanho do *frame* para cada rodada pretendendo com isso realizar uma identificação eficiente. Para determinar o tamanho do *frame* ideal, é fundamental um bom algoritmo para estimar o número de etiquetas no alcance do leitor[17]. Esse é um dos maiores problemas existentes e foco das maiores divergências entre os diversos algoritmos de DFSA, é a forma de como estimar a população de etiquetas através de uma função que relaciona as informações obtidas pelo leitor no *frame* anterior.

3.3. Efeito de captura

É um fenômeno interessante que ocorre em um sistema real de RFID, mas que costuma ser abstraído na maioria dos algoritmos anticolisão, apesar de ser bastante estudado.

O efeito de captura ocorre quando uma etiqueta consegue ser identificada mesmo quando outras etiquetas também transmitiram suas identificações ao mesmo tempo[4].

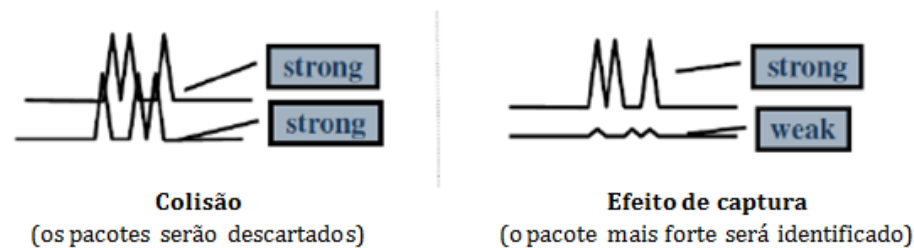


Figura 4: Efeito de captura.

Basicamente, o efeito de captura é o fenômeno onde um sinal pode ser recebido, apesar da interferência. Isto é algo que observamos comumente todos os dias: somos capazes de compreender alguém falar, apesar do ruído do ambiente ou outras pessoas conversando a poucos metros de distância [12].

Para este trabalho utilizaremos para calcular o efeito de captura o modelo SIR (*Signal to Interference Ratio*). Que conforme está descrito em [11] equivale à:

$$P_{cap}(N) = N * P\left(\frac{P_i}{\sum_{j=1, j \neq i}^{N-1} P_j} > z_0\right)$$

$$P_i, \text{ ou } P_j = P_T * \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)^2 d^{-n} R^2 g * e * \eta * g \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)^2 d^{-n} R^2$$

3.4. Resumo

Para o problema onde mais de uma etiqueta pode transmitir ao mesmo tempo, existe a solução dos algoritmos anticisão, existem diversos tipos de protocolos anticisão, mas um que vem sendo bastante estudado é o DFSA que tem como início o ALOHA e diversas melhorias como divisão do tempo em *frames* e *slots* e técnicas de detectar quando houve uma colisão.

O principal objetivo deste algoritmo é a estimativa da quantidade de etiquetas existentes no ambiente, para isso ele faz uso de estimadores e é neste ponto que os algoritmos desta classe se diferenciam.

Um fenômeno interessante que ocorre nos testes destes algoritmos é o efeito de captura, este efeito é desconsiderado por uma parte dos algoritmos estimadores para DFSA, mas ele acontece em um ambiente real, o que pode levar a resultados não esperados no algoritmo. Este efeito ocorre quando duas etiquetas transmitem ao mesmo tempo, mas mesmo assim o leitor consegue identificar uma das etiquetas. Em um ambiente real este efeito faz com que o algoritmo não perceba que houve uma colisão e, com isso, acaba estimando o número de etiquetas erroneamente.

CAPÍTULO 4

VOGT E CMEBE

Dois bons algoritmos estimadores para o protocolo anticisão DFSA serão apresentados, os dois são baseados na desigualdade de Chebyshev, a qual afirma que o resultado de um experimento envolvendo uma variável aleatória X é provavelmente próximo ao valor esperado de X [19], com base neste conceito cada um desenvolve uma função de estimativa da população de etiquetas.

4.1. VOGT

Este estimador considera que o problema de colisão de transmissões de etiquetas em *slots* de um *frame* é um problema de alocação. Dado que um *frame* está dividido em L *slots* e existem n etiquetas tentando ser identificadas neste *frame*, a probabilidade de r etiquetas competirem em um mesmo *slot* é binomialmente distribuída com parâmetros n e $1/L$ conforme representado na equação abaixo:

$$B_{n\frac{1}{L}}(r) = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{L}\right)^r \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r}$$

Dado que em um *frame* com L *slots*, a quantidade esperada de *slots* contendo transmissões de r etiquetas é definida por:

$$a_r^{L,n} = LB_{n\frac{1}{L}}(r) = L \binom{n}{r} \left(\frac{1}{L}\right)^r \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r}$$

Utilizando a desigualdade de Chebyshev, Vogt definiu uma função de estimativa do número de etiquetas buscando a minimização da distância entre o vetor $\langle a_0^{L,n}, a_1^{L,n}, a_{\geq 2}^{L,n} \rangle$ e o vetor que contem os valores esperado para C_e , C_s e C_f [1]. Esta função é mostrada abaixo:

$$\hat{n}(L, C_e, C_s, C_f) = \min_n \left| \begin{pmatrix} a_0^{L,n} \\ a_1^{L,n} \\ a_{\geq 2}^{L,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C_e \\ C_s \\ C_f \end{pmatrix} \right|$$

Onde o \hat{n} é o valor de n que minimiza o módulo da diferença dos dois vetores mostrados acima.

O estimado de Vogt utiliza este valor \hat{n} para definir uma função de cálculo do tamanho do próximo *frame*. Os resultados dessa função permitem cinco tamanhos diferentes para o próximo *frame*, pois consideram a limitação de sistemas RFID onde o tamanho do *frame* está limitado a uma potência de 2, mas para efeitos de simulação e estimadores de DFSA o tamanho do próximo *frame* no estimador Vogt pode ser considerado simplesmente como:

$$L_{opt} = n - Cs$$

4.2. CMEBE

Este é um algoritmo bastante recente, mas que promete ótimos resultados, ele é compatível com a padronização ISO 18000-6C e é de fácil aplicação. A idéia principal do CMEBE está no projeto de uma função de estimativa do número de etiquetas e na probabilidade de ocorrência do efeito de captura[10].

As informações básicas que podem ser utilizadas para estimar o próximo *frame* são a quantidade de *slots* vazios (C_0), a quantidade de *slots* com sucesso na identificação (C_1) e a quantidade de *slots* com colisão (C_k), mas considerando a ocorrência do efeito de captura, estes valores não representam exatamente o que ocorreu em cada *slot*, ele apenas representa o que foi detectado através do leitor. Para considerar as quantidades de etiquetas exatas que competiram em cada *slot* consideraremos os valores de C_e (*slots* vazios), C_s (*slots* com sucesso na detecção) e C_f (*slot* com falha na detecção) e eles são definidos abaixo:

$$C_e = C_0$$

$$C_s = C_1 + \alpha C_k$$

$$C_f = C_k - \alpha C_k$$

Este multiplicador α na equação acima representa a probabilidade de ocorrer o efeito de captura sobre a quantidade de *slots* que foram detectados pelo leitor como colisão.

Considerando essas informações e a definição dos valores de C_0 , C_1 e C_k para sistemas Aloha com slots dado em[16], chegamos às equações abaixo:

$$C_e = L \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n$$

$$C_s = n \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} + \alpha \left[L - L \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n - n \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \right]$$

$$C_f = (1 - \alpha) \left[L - L \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n - n \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \right]$$

A chave principal deste algoritmo é utilizar o valor de n e α , considerando $n \geq 1$ e $0 < \alpha < 1$, tal que a distância entre o vetor $\langle C_{e_c}, C_{s_c}, C_{f_c} \rangle$ com os valores calculados e o vetor $\langle C_{e_m}, C_{s_m}, C_{f_m} \rangle$ com os valores medidos pelo leitor seja mínima.

$$\hat{n}(L, C_{e_m}, C_{s_m}, C_{f_m}) = \min_{n, \alpha} \left| \begin{pmatrix} C_{e_m} \\ C_{s_m} \\ C_{f_m} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C_{e_c} \\ C_{s_c} \\ C_{f_c} \end{pmatrix} \right|$$

Um ponto interessante desse algoritmo é que o tamanho do próximo *frame* é calculado para ser menor do que o número de etiquetas supostamente existentes, a intenção por trás disso é tentar aproveitar a ocorrência do efeito de captura e diminuir a quantidade de *slots* gastos. Segue abaixo a função do tamanho do *frame* seguinte.

$$L_{opt} = \alpha + (1 - \alpha)n$$

4.3. Comparação

Levando em consideração a implementação desses dois algoritmos, alguns pontos devem ser salientados, o estimador CMEBE é mais complexo em sua implementação por considerar a possibilidade de ocorrência do efeito de captura, mas se mostra mais completo para um cenário real considerando que pode ocorrer este efeito.

Comparando o CMEBE com o método original de Vogt[19], CMEBE tem um aumento de complexidade em y vezes devido à tarefa adicional de estimar o valor de α . Normalmente, y é um pouco maior que 2, dado que, uma vez que α é estimado após o primeiro quadro (chamado de α_1), nos seguintes *frames*, α apenas é estimado como uma escolha entre três valores: $\alpha_1 - s$, α_1 , $\alpha_1 + s$, onde s é um comprimento de busca definido em relação a α [10].

4.4. Resumo

O CMEBE e o Vogt são dois estimadores para protocolos DFSA os dois são baseados na desigualdade de Chebyshev e através deste conceito definem uma função de estimativa do

número de etiquetas que competiram no *frame* anterior, tendo como base apenas o número de *slots* que obtiveram sucesso, o número de colisões e o número de *slots* vazios.

Comparando os dois estimadores, percebe-se que o CMEBE considera a existência do efeito de captura em sua implementação e com isso seus resultados consideram não só a quantidade de etiquetas no ambiente, mas também a probabilidade de ocorrência do efeito de captura.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SIMULADOR

Com a finalidade de testar o funcionamento dos dois estimadores (CMEBE e Vogt) e propiciar análises futuras em uma variedade de ambientes, foi desenvolvido um simulador para sistemas RFID que utilizam os dois algoritmos.

5.1. Características

O simulador foi desenvolvido utilizando a tecnologia C# e foi desenvolvido para realizar experiências em um ambiente com várias etiquetas RFID de forma simples e tornar possível a análise através de saídas de texto que podem ser facilmente interpretadas através do Matlab para gerar gráficos.

Este simulador utiliza DFSA como algoritmo anticolisão e exibe nas suas respostas o resultado esperado para o estimador Vogt e o CMEBE.

Um ponto fundamental para a implementação deste simulador foi a forma de simulação do efeito de captura, um requisito importante para testar corretamente o estimador CMEBE. Para tal foi utilizado o modelo SIR (*Signal to Interference Ratio*) que está descrito em detalhes em [11]. Este modelo cria um coeficiente entre o sinal mais forte que chega ao leitor e o somatório dos sinais de todas as outras etiquetas que transmitiram para um mesmo *slot*, se este coeficiente for maior que valor definido como taxa de captura (para este simulador utilizamos o valor 6) então podemos afirmar que ocorreu o efeito de captura e o sinal mais forte foi identificado.

5.2. Funcionalidades

Nesta primeira versão do simulador será possível definir o tamanho do ambiente onde as etiquetas estarão espalhadas aleatoriamente, a quantidade de simulações que serão realizadas para gerar os gráficos e além destas configurações será permitido configurar valores importantes para cada um dos três gráficos que serão gerados: Gráfico do número de etiquetas, Gráfico da variação da taxa de efeito de captura e Gráfico de vazão.

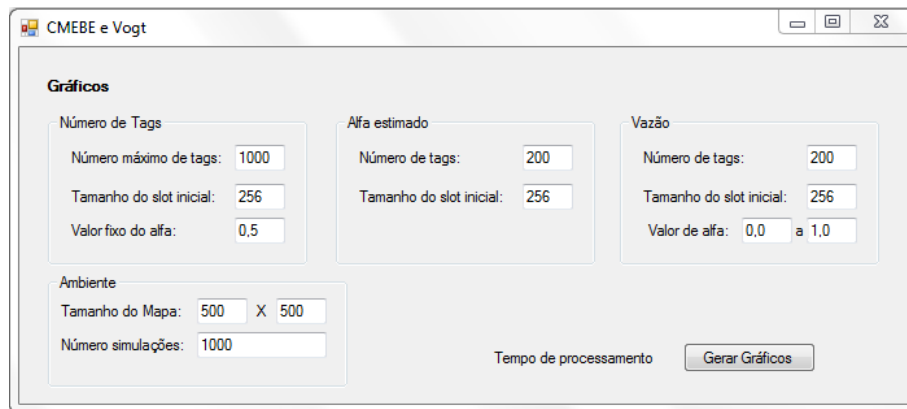


Figura 5: Simulador.

5.2.1. Gráfico do número de etiquetas

Para gerar este gráfico o usuário poderá preencher três informações: número máximo de tags, tamanho do *slot* inicial, valor fixo do alfa.

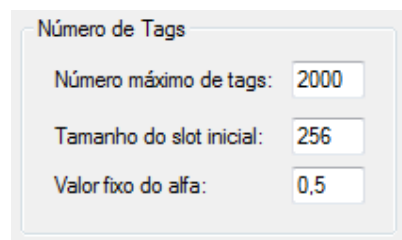


Figura 6: Configuração do gráfico do número de etiquetas.

O número máximo de tags é um valor que vai definir qual a quantidade máxima de etiquetas que serão utilizadas para gerar o gráfico, ele será calculado um ponto no gráfico para um ambiente com 1 etiqueta até o valor máximo escolhido.

O tamanho do *slot* inicial será o tamanho do *slot* no qual será realizada a análise.

O valor fixo do alfa será a probabilidade de ocorrer o efeito de captura no ambiente simulado, para este tipo de gráfico o valor será fixo em todas as interações.

O resultado deste gráfico será um valor de 1 até o número máximo de etiquetas em X e os valores em Y será o valor estimado pelos dois simuladores.

5.2.2. Gráfico da variação da taxa de efeito de captura

Para gerar este gráfico o usuário poderá preencher duas informações: número de tags, tamanho do *slot* inicial.

Figura 7: Configuração do gráfico da variação da taxa de efeito de captura.

Diferente do gráfico anterior o número de etiquetas deste gráfico é fixo e para todas as simulações, pois o resultado deste gráfico apenas analisa, para valores de α de 0 até 1, qual o valor estimado pelo simulador CMEBE.

5.2.3. Gráfico de vazão

Para gerar este gráfico o usuário poderá preencher três informações: número de tags, tamanho do *slot* inicial e a variação do alfa

Figura 8: Configuração do gráfico de vazão.

Para este gráfico o número de etiquetas também permanecerá fixo em todas as simulações, mas o valor de α do ambiente poderá variar em um intervalo definido pelo usuário. O resultado deste gráfico será o intervalo definido em α pelo usuário e no eixo Y será a vazão calculada através da detecção de do número de etiquetas pelos dois estimadores (CMEBE e Vogt). Para este gráfico a vazão será calculada como o quociente entre o número de *slots* úteis (*slots* onde ocorreu sucesso na detecção) durante a detecção de todas as etiquetas e número total de *slots* utilizados durante todo o processo.

5.2.4. Formato da saída

A saída do simulador são três arquivos de texto (um para cada gráfico) contendo cinco valores separados por ponto-e-vírgula, o significado de cada um destes campos está explicado na tabela abaixo.

Campo 1	Indica o valor do eixo X do gráfico.
Campo 2	Indica o valor do eixo Y do gráfico para o estimador CMEBE.
Campo 3	Indica o valor do eixo Y do gráfico para o estimador de Vogt.
Campo 4	Indica o valor do intervalo de 99% de confiança dos valores eixo Y do gráfico para o estimador CMEBE.
Campo 5	Indica o valor do intervalo de 99% de confiança dos valores eixo Y do gráfico para o estimador de Vogt.

Tabela 1: Formato dos campos de saída do simulador.

Com exceção do gráfico da variação da taxa de efeito de captura (que só é aplicado para CMEBE), todos os campos estarão preenchidos ao final da simulação, este formato de saída é interessante, pois permite que mais de uma análise seja realizada sobre o mesmo resultado de uma simulação, será possível analisar o resultado dos algoritmos separados ou juntos e pode-se ou não utilizar o intervalo de confiança.

Abaixo segue um exemplo de cada um dos gráficos gerados através do Matlab. Todos os gráficos foram gerados utilizando as configurações da imagem 5.

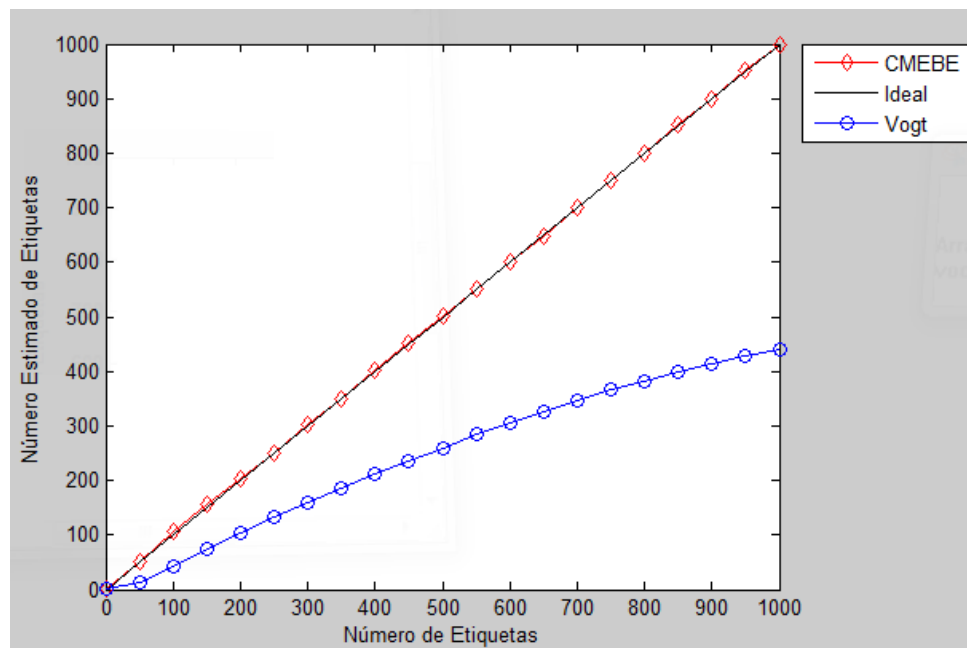


Figura 9: Gráfico do número estimado de etiquetas.

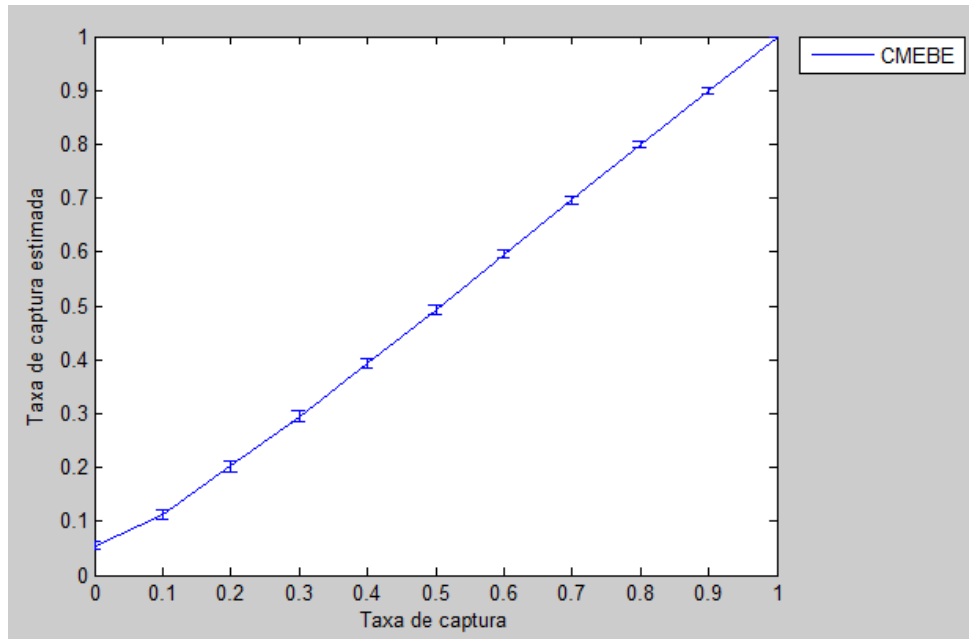


Figura 10: Impacto da taxa de efeito de captura.

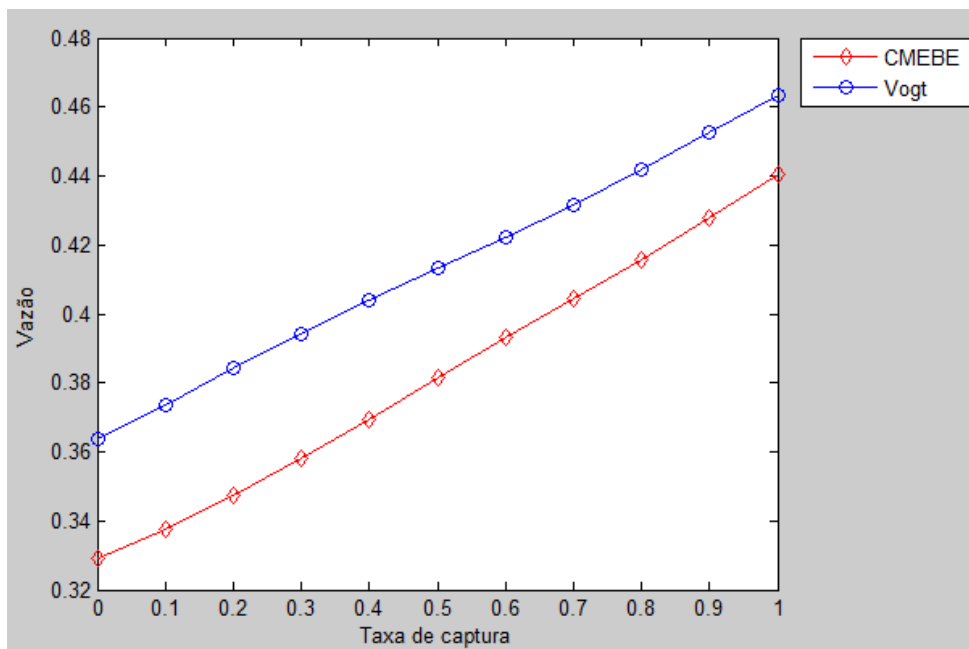


Figura 11: Gráfico de vazão.

5.3. Dificuldades

Para a implementação deste simulador algumas barreiras tiveram que ser ultrapassadas, foi necessário desenvolver um ambiente para simulações de RFID com o protocolo anticolisão DFSA, após isso foi necessário estudar e implementar os dois

estimadores(CMEBE e Vogt), entender e desenvolver algum dos modelos de simulação de efeito de captura descritos em [11].

Outro problema para o simulador foi validar o simulador de números aleatórios padrão de C#, após algumas pesquisas e testes ficou mostrado que ele não é um ótimo gerador de números aleatórios, mas conseguindo aleatorizar bem a semente utilizada foi possível conseguir resultados aceitáveis.

A questão de transformar saída do simulador também foi um problema no início do desenvolvimento, já se sabia que não seria ideal exibir os gráficos através do Excel e implementar algo que exibisse os gráficos no próprio simulador seria algo arriscado e custoso, mas após algumas pesquisas o Matlab se mostrou suficientemente bom para os gráficos que se pretendia exibir.

5.4. Trabalhos futuros

Este simulador apesar de possuir algumas funcionalidades interessantes para sua primeira versão é possível torná-lo mais completo, facilitar a sua utilização para o usuário e melhorar a precisão dos resultados exibidos.

Seria interessante adicionar mais estimadores DFSA para aumentar a gama de comparações e análises que poderiam ser realizadas através do simulador.

Outro ponto seria melhorar a interface permitindo a geração de outros tipos de gráficos e até mesmo a possibilidade de salvar um ambiente simulado para que se torne possível repetir as mesmas simulações em um mesmo ambiente.

Além disso, poderia ser utilizado um melhor gerador de número aleatórios e até mesmo um modelo de simulação de efeito de captura mais complexo e com um melhor grau de acerto.

5.5. Resumo

Para o desenvolvimento deste simulador em C# foi necessário o entendimento de vários tipos algoritmos, algoritmo para simular o DFSA, implementar os estimadores CMEBE e o Vogt, algoritmo para simular o efeito de captura, entre outros menores.

Alguns problemas foram ultrapassados durante o desenvolvimento desta ferramenta, como a escolha de um gerador de números aleatórios e a forma de como exibir um gráfico com todas as informações necessárias para uma análise correta.

Nesta versão o simulador permite a geração de saídas para três tipos de gráficos, todos contendo sua própria configuração inicial, permitindo ao usuário escolher o ambiente sobre o qual o gráfico será realizado, além disso, é permitido o usuário escolher a quantidade de simulações que serão realizadas para gerar o valor de cada gráfico.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Sistemas RFID estão em constante evolução, não é errado imaginar que daqui a alguns anos as etiquetas RFID estejam substituindo de vez os atuais códigos de barra, ou seja, em quase tudo que você imaginar vai existir uma etiqueta RFID com informações únicas daquele produto.

Com todo esse avanço se faz necessário melhorar a forma como são identificadas as etiquetas, pois um número muito grande delas pode estar em um mesmo ambiente sendo interrogadas pelo mesmo sensor. Atualmente existem diversos algoritmos anticolisão e cada vez eles prezam pela velocidade de detecção e economia de tempo de detecção que no fim vai se refletir em economia de energia, que é um ponto importante quando falamos na miniaturização das etiquetas e na produção em massa, apenas com uma boa evolução nestes dois pontos pode ser possível imaginar que as etiquetas RFID se popularizem e se espalhem por diversos produtos.

Vários protocolos de consultas estão sendo estudados e desenvolvidos, dentre eles o Vogt tem um grande destaque no meio acadêmico e um recente algoritmo chamado CMEBE vêm mostrando bons resultados. Neste documento foi mostrado o desenvolvimento de um simulador que implementa estes dois algoritmos e permite que análises em vários ambientes simulados sejam realizados e comparados. Com este simulador esperasse que uma análise sobre estes algoritmos seja simplificada e com sua possível evolução auxiliar na escolha de um algoritmo anticolisão para um determinado ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, J. D.; GONLÇAVES, P. A. S. **Uma Função de Cálculo de Tamanho de Frames para o Protocolo DFSA em Sistemas RFID**. In Proceedings of XVI Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS). Campo Grande: [s.n.]. 2011. p. 61-74.
- [2] BERNARDO, C. G. A tecnologia RFID e os benefícios da etiqueta inteligente para os negócios. **Revista eletrônica de Produção Científica**, 2004. Disponível em: <http://www.unibero.edu.br/download/revistaeletronica/Set04_Artigos/A%20Tecnologia%20RFID%20-%20BSI.pdf>. Acesso em: 6 Junho 2011.
- [3] BUENO-DELGADO, M. V.; VALES-ALONSO, J.; GONZALEZ-CASTAÑO, F. J. Analysis of DFSA Anti-collision Protocols in passive RFID environments, 2010.
- [4] BUENO-DELGADO, V. M.; VALES-ALONSO, J. Analysis of the identification process in active RFID systems with Capture Effect, Junho 2010.
- [5] CHEN, W.-T. An Accurate Tag Estimate Method for Improving the Performance of an RFID Anticollision Algorithm Based on Dynamic Frame Length ALOHA. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, 2009. 9-15.
- [6] EOM, J.-B. A. L. T.-J. Accurate Tag Estimation for Dynamic Framed-slotted ALOHA in RFID Systems. **IEEE Communications Letters**, 2010. 60-62.
- [7] JUNIOR, A. W. Projeto do Processamento Digital de TAG RFID Adequado à Norma ISO/IEC 18000-2, Porto Alegre, 2010.
- [8] KLAI, D.; CHIN, K.-W.; RAAD, R. A Survey and Tutorial of RFID AntiCollision Protocols. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, 2010. 400 –421.
- [9] LAHIRI, S. **RFID Sourcebook**. [S.I.]: IBM Press, 2006.
- [10] LI, B.; WANG, J. Efficient Anti-Collision Algorithm Utilizing the Capture Effect for ISO 18000-6C RFID Protocol. **IEEE Communications Letters**, Vol 15, Março 2011.
- [11] LI, B.; YANG, Y.; WANG, J. Anti-Collision Issues analysis in Gen2 Protocol. **Auto-ID Labs White Paper WP-HARDWARE-047**, Março 2009.
- [12] NATALI, C.-F.; VAIDYA, N. H. Expanding Horizon and Capture Effect in RFID Systems, 2007. Disponível em:

<<http://www.crhc.illinois.edu/wireless/papers/charles-report.pdf>>. Acesso em:
05 Junho 2011.

- [13] PASSARETTI, C. S. **RFID - Identificação por radiofrequência mvendo-se para o futuro**. Brasília. 2008.
- [14] SANGHERA, P. **RFID+ Study Guide and Practice Exam**. [S.I.]: Syngress, 2007.
- [15] SANTINI, A. G. **RFID: Conceitos, Aplicabilidades e Impactos**. [S.I.]: Ciência Moderna, 2008.
- [16] SCHOUTE, F. C. **Dynamic frame length ALOHA**. 1983.
- [17] SIK, S. C.; HONG, Y.-S.; KIM, S.-K. Dynamic Framed ALOHA Algorithm Using a Collision Factor in RFID Systems, 2009.
- [18] TONG, Q.; ZOU, X.; TONG, H. Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm. **Proc. of the WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering**, 2009. 384-388.
- [19] VOGT, H. Efficient Object Identification with Passive RFID Tags, 2002.
- [20] WANT, R. The Magic of RFID. **ACM Queue**, 2004.
- [21] WARD, M.; KRANENBURG, R. V. RFID: Frequency, standards, adoption and innovation, 2006.
- [22] WEINSTEIN, R. RFID: A Technical Overview and Its Application to the Enterprise, 2005.
- [23] ZEBRA TECHNOLOGIES. RFID: The Next Generation of AIDC. **Technical report**, 2005.