



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Graduação em Ciência da Computação

**UM ESTUDO DO IMPACTO DA TÉCNICA “DIVIDIR E
CONQUISTAR” NO DESEMPENHO DE IDENTIFICAÇÃO DE
ETIQUETAS RFID**

Igor de Oliveira Lima Souza

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Recife

1 de julho de 2011

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Informática

Igor de Oliveira Lima Souza

**UM ESTUDO DO IMPACTO DA TÉCNICA “DIVIDIR E
CONQUISTAR” NO DESEMPENHO DE IDENTIFICAÇÃO DE
ETIQUETAS 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: Prof. Dr. Paulo André da Silva Gonçalves

Recife

1 de julho de 2011

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele, minha vida não faria sentido. Dedico à minha família, principalmente aos meus pais e irmã que me acompanharam durante toda essa jornada. Aos meus colegas de Universidade que me deram a força e ajuda necessária nesses momentos para poder seguir em frente com tranquilidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que tem me dado oportunidades que eu nunca imaginei ter, pelo crescimento acadêmico e em outras áreas de minha vida.

Em seguida, gostaria de agradecer aos meus pais, Adalgisa e Flávio, minha irmã Thaysa e a todos os familiares que sempre acompanharam os meus passos e me incentivaram a ir mais longe.

Aos meus colegas de Universidade que tornaram essa caminhada menos dolorosa e até um tanto divertida: Bruno Monteiro, Denys Farias, Estácio Ferraz, Hélio Brito, Leandro do Carmo, Lucas Ventura, Luís Filipe, Murilo Velozo, Ruan Carvalho, entre outros, que foram cruciais para que tudo se tornasse verdade.

Agradeço aos meus companheiros do Projeto CIn/Samsung por contribuírem para o meu crescimento profissional.

Agradeço aos professores do Centro de Informática que contribuíram para minha formação acadêmica.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Paulo Gonçalves, que foi essencial para a concretização deste trabalho.

Nossa maior fraqueza está em desistir. A maneira mais certa de obter sucesso é sempre tentar só mais uma vez.

– THOMAS EDISON

RESUMO

Ao longo dos últimos anos, as etiquetas de identificação por rádio frequência (RFID) vêm sendo utilizadas em diversos setores da sociedade, tornando-se atraente para pessoas e empresas com o intuito de simplificar cada vez mais seu dia a dia por meio de aplicações que permitam identificação automática de objetos.

Diversas maneiras para aperfeiçoar essa tecnologia vêm sendo desenvolvidas em todo mundo. Uma das áreas de pesquisa visa aumentar o desempenho dos sistemas e tem por objetivo diminuir a interferência que uma etiqueta pode causar nas outras no momento de comunicação com o leitor das etiquetas. Existem diversos protocolos que tentam evitar essas interferências e são denominados de protocolos anticolisão, os quais procuram evitar a colisão de informações oriundas das diferentes etiquetas, além de tentar diminuir o tempo desperdiçado com essas colisões.

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo do impacto da técnica “Dividir e Conquistar” no desempenho de identificação de etiquetas RFID. Será analisada como essa técnica pode ajudar a melhorar o processo de identificação de etiquetas e o protocolo GB-DFSA será utilizado como estudo de caso.

Palavras-chave: RFID, DFSA, GB-DFSA, Protocolos anticolisão, Dividir e conquistar

ABSTRACT

Over the years, the radio frequency identification tags (RFID) have been used in various sectors of society, making it attractive to people and companies in order to increasingly simplify their daily lives through applications that do automatic identification of objects.

Several ways to improve this technology have been developed over the world. One area of research aims to increase the performance of systems and aims to reduce the interference that a label can cause the other at the time of communication with the reader of the label. There are several protocols that try to avoid such interference, and are called anti-collision protocols, which seek to avoid the collision of information coming from different labels, and try to reduce the time wasted on these collisions.

This study aims to conduct a study of the impact of "Divide and Conquer" technique on performance identification of RFID tags. Will be examined how this technique can help improve the process of identifying labels and the GB-DFSA protocol will be used as case study.

Keywords: RFID, DFSA, GB-DFSA, anti-collision protocols, Divide and conquer

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização.....	3
CAPÍTULO 2 – Fundamentos de RFID	4
2.1. Arquitetura de Sistemas RFID	4
2.2. Divisão de Sistemas RFID em classes	6
2.3. Processo de Padronização.....	7
2.3.1. EPCglobal Geração 1.....	7
2.3.2. EPCglobal Geração 2.....	8
2.3.3. ISO 18000	9
2.4. Resumo.....	9
CAPÍTULO 3 – Protocolos Anticolisão.....	11
3.1. O problema da colisão.....	11
3.2. Protocolo Frame-Slotted ALOHA.....	12
3.3. Protocolo Dynamic Frame-Slotted ALOHA.....	12
3.4. Protocolo Grouping-Based Dynamic Frame-Slotted ALOHA.....	13
3.5. Resumo.....	15
CAPÍTULO 4 – Análise e Simulações	17
4.1. Validação do simulador	17
4.2. A vazão ótima	19
4.3. Ultrapassando a vazão ótima	20
4.4. Resumo.....	21
CAPÍTULO 5 – Conclusões	22

GLOSSÁRIO

AIP: *Air Interface Protocol* ou Interface de Protocolo Aérea, 9

DFSA: Dynamic Frame-Slotted ALOHA, 12

DoD: *Department of Defense* ou Departamento de Defesa do Estados Unidos, 7

EPC: *Electronic Product Code* ou Código Eletrônico de Produto, 8

EPCGen1: EPCglobal Geração 1, 7

EPCGen2: EPCglobal Geração 2, 8

FSA: Frame-Slotted ALOHA, 12

GB-DFSA: Grouping-Based Dynamic Framed Slotted ALOHA, 2

GS1: *Global Standards One*, 7

HP: Hewlet-Packard, 7

ISO: International Organization for Standardization, 7

RFID: Radio Frequency Identification, 1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de etiquetas.	5
Figura 2. Sistema RFID.....	5
Figura 3. <i>Electronic Product Code</i>	8
Figura 4. Processo de leitura de etiquetas.	11
Figura 5. Funcionamento do FSA.	12
Figura 6. Pseudocódigo do algoritmo usado pelo GB-DFSA.....	15
Figura 7. Interface gráfica do simulador.	17
Figura 8. Comparação dos resultados obtidos no primeiro experimento.	18
Figura 9. Comparação dos resultados obtidos no segundo experimento.	19
Figura 10. Vazão máxima em função tamanho do <i>frame</i> (n).....	20

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

À medida que a tecnologia evolui, novas formas de rastrear, identificar e catalogar objetos são criadas. Um sistema de identificação que vem ganhando muito espaço é o RFID. Ele vem sendo cada vez mais utilizado e em diversos setores da sociedade tornando-se cada vez mais atraente para pessoas e empresas com o intuito de simplificar o seu dia a dia utilizando aplicações que permitam identificação automática de objetos.

1.1. Motivação

As etiquetas RFID são dispositivos de identificação de objetos que funcionam por rádio frequência. Inicialmente elas foram concebidas como alternativa para os códigos de barras, mas agora são consideradas sucessoras desse sistema de identificação [1], podendo ser utilizadas em diversos setores da sociedade. Por exemplo, elas podem ser usadas para localizar e identificar cabeças de gado ao ar livre, gerenciar produtos em supermercados, e até mesmo para encontrar livros em bibliotecas [2].

Diante da variedade de aplicações, a ABI Research prevê que esse mercado pode movimentar cerca de 9,7 bilhões de dólares em 2013 [3], tornando-se cada vez mais atraente para pessoas e empresas com o intuito de simplificar cada vez mais seu dia a dia utilizando aplicações que permitam identificação automática de objetos.

Em todo mundo, diversas maneiras para aperfeiçoar essa tecnologia vêm sendo desenvolvidas. Uma das áreas de pesquisa visa aumentar o desempenho dos sistemas e diminuindo a interferência que uma etiqueta pode causar nas outras no momento de comunicação com o leitor das etiquetas [2]. Existem diversos protocolos que tentam evitar essas interferências e são denominados de protocolos anticolisão, os quais procuram evitar a colisão de informações oriundas das diferentes etiquetas, além de tentar diminuir o tempo desperdiçado com essas colisões.

As etiquetas possuem limitações de poder computacional, memória e energia, por isso é preciso organizar a troca de informações, além de executá-las no menor tempo possível, evitando um gasto desnecessário. Portanto, é preciso haver um protocolo anticolisão eficiente.

Nesse cenário, um novo protocolo anticolisão, chamado Grouping-Based Dynamic Frame-Slotted ALOHA (GB-DFSA) foi proposto. Esse protocolo faz uso da técnica “Dividir e conquistar” para obter uma maior vazão no processo de identificação. O protocolo será descrito com mais detalhes a longo deste trabalho, mas de forma simplificada, as etiquetas são divididas em grupos e em seguida o processo de identificação é executado grupo a grupo.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo sobre o impacto da técnica “Dividir e Conquistar” no desempenho de identificação de etiquetas RFID. Será analisada como essa técnica pode ajudar a melhorar o processo de identificação de etiquetas e o protocolo GB-DFSA será utilizado como estudo de caso. Como análise de desempenho, o GB-DFSA será comparado a outro protocolo, o DFSA.

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

- Estudar os fundamentos de sistemas RFID;
- Estudar e analisar alguns protocolos anticolisão para sistemas RFID;
- Estudar os protocolos FSA, DFSA e GB-DFSA;
- Implementar simulador de sistemas RFID, utilizando os protocolos citados;
- Validar os resultados obtidos a partir de um simulador desenvolvido neste trabalho;
- Analisar como o GB-DFSA consegue aumentar a eficiência no processo de identificação.

1.3. Organização

Este documento está dividido em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta uma descrição da tecnologia RFID, abordando a arquitetura e seu processo de padronização. O Capítulo 3 detalha um pouco mais o problema da colisão, descreve alguns protocolos anticisão existentes, dentre eles o GB-DFSA, utilizado como estudo de caso neste trabalho. O Capítulo 4 contém uma análise de desempenho dos protocolos descritos neste trabalho. Para realizar os experimentos foi desenvolvido um simulador, que será validado comparando os resultados especificados na literatura. De acordo com as simulações, será analisado como o GB-DFSA consegue melhorar o desempenho dos sistemas RFID. Por fim, o Capítulo 5 é dedicado às conclusões deste trabalho.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE RFID

Os sistemas de identificação por radio frequência só serão atrativos, se forem eficientes e de baixo custo. O sistema deve ser modelado levando em conta não só a existência de componentes capazes de oferecer uma identificação rápida, mas também as exigências financeiras para a sua utilização em produtos baratos, como uma caixa de palito de dentes. Para reduzir os custos do projeto, é preciso haver uma padronização da tecnologia. Ademais, a interação entre sistemas RFID de diferentes fabricantes seria possível caso um padrão universal fosse adotado. Neste Capítulo, serão abordados a arquitetura e o processo de padronização dos sistemas RFID.

2.1. Arquitetura de Sistemas RFID

Os sistemas RFID são constituídos por dois componentes principais: etiquetas e leitores. As etiquetas possuem informação digital capaz de identificar o objeto ao qual está acoplada. Os leitores, através de comunicação sem fio, são capazes de capturar essa informação.

As etiquetas são acoplados a objetos físicos. Elas podem ser divididas em três grupos: passivas, ativas e semi-passivas. As etiquetas passivas não possuem baterias. Elas capturam a energia emitida pelos leitores, quando estes enviam mensagens, através de um efeito de indução magnética [2]. Outras etiquetas possuem baterias em seu esquema elétrico. Elas são classificadas como ativas quando retiram toda a energia que necessitam de suas baterias. Assim, geralmente possuem um maior raio de alcance na emissão de seus dados. Já, as etiquetas semi-passivas são aquelas que utilizam a energia emitida pelos leitores para a comunicação, mas possuem uma bateria que fornece energia para outros módulos de seu circuito.

Na Figura 1 é possível observar exemplos dos três tipos de etiquetas.



Figura 1. Exemplos de etiquetas.

A estrutura das etiquetas deve possuir três componentes:

- Antena;
- Chip de silício;
- Material de encapsulamento.

Nas etiquetas passivas, existe uma bobina que funciona como antena. O chip de silício deve possuir uma memória on-board capaz de armazenar o código identificador. Muitos fabricantes de sistemas RFID adotam uma memória do tipo EEPROM, utilizada para leitura e escrita. Isso permite que algumas aplicações sejam desenvolvidas para a etiqueta, como por exemplo, protocolos de autenticação. [2]

As informações contidas nas etiquetas são consultadas pelos leitores. Em geral, eles possuem uma conexão com um banco de dados. Uma vez obtido o conteúdo das etiquetas, os leitores buscam no banco de dados maiores informações a respeito do objeto em questão. Essas informações podem conter o número de série, o histórico de vendas, a data de fabricação, o prazo de validade, entre outras características do produto.

A Figura 2 exemplifica a infraestrutura de um sistema RFID. Nela estão representados as etiquetas e o leitor conectado a um banco de dados.

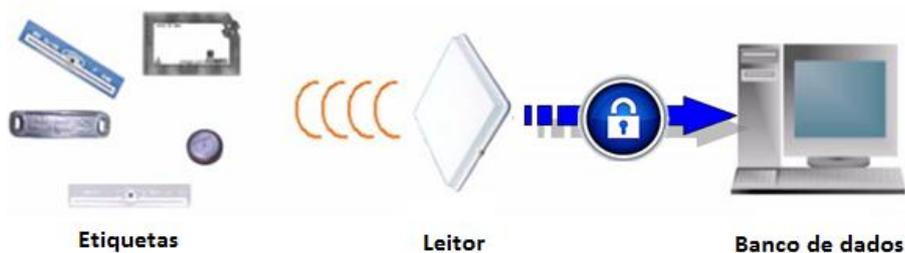


Figura 2. Sistema RFID.

Por utilizar radio frequência, o sistema RFID permite a detecção de produtos em movimento, sem a necessidade de uma linha de visada entre o objeto e o leitor. Devido a essa característica essa tecnologia se sobressaiu em relação ao sistema de código de barras e passou a ser usada toda a cadeia de suprimentos de diversas empresas. [4]

2.2. Divisão de Sistemas RFID em classes

O uso de sistemas RFID vem sendo apoiado por diversas organizações. Uma delas, o MIT Auto-ID Center é um grupo de pesquisa da área de sistemas de identificação por radio frequência. Ele é formado por uma cooperação entre sete universidades, que juntamente com outras instituições tem o objetivo de desenvolver a arquitetura da tecnologia. O MIT Auto-ID Center dividiu as etiquetas RFID em quatro classes [5]:

- Classe 1
Etiquetas passivas que possuem somente a capacidade de anunciar sua presença. As etiquetas são programadas na fase de fabricação para não permitir que o usuário altere seu conteúdo. Essas etiquetas estão presentes em bibliotecas e livrarias. Geralmente são colocadas na entrada desses lugares, anunciando a passagem de livros e outros itens, mas sem identificá-los.
- Classe 2
Etiquetas passivas que permitem que o usuário grave dados na memória uma única vez, não podendo ser modificados posteriormente. Após a modificação de dados, só é possível realizar a leitura das etiquetas.
- Classe 3
Etiquetas passivas que podem ter seu conteúdo modificado mais de uma vez, de acordo com a necessidade do usuário. Elas possuem uma memória regravável, com capacidade de escrita e leitura.
- Classe 4
São etiquetas semi-passivas que possuem sensores embarcados e memória regravável em sua arquitetura. Assim, são capazes de obter informações do meio onde estão inseridas, armazená-las em sua memória e transmiti-las aos leitores.

- Classe 5

As etiquetas dessa classe são capazes de se comunicar umas com as outras. Dessa maneira, é possível a construção de uma rede sem fio de etiquetas. Essas etiquetas são ativas e possuem memória regravável.

2.3. Processo de Padronização

O uso de sistemas RFID, assim como o desenvolvimento de suas aplicações, é dependente da padronização desta tecnologia. Por isso, alguns grupos definem padrões e regulam o uso de RFID, como a EPCglobal Inc. e a International Organization for Standardization (ISO). Muitas outras organizações veem cooperando com a evolução da tecnologia e a criação de padrões. Dentre elas, estão Hewlet-Packard (HP), Wal-Mart e o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD).

2.3.1. EPCglobal Geração 1

Foi o primeiro padrão de sistema RFID estabelecido pela EPCglobal. Essa organização faz parte da *Global Standards One* (GS1), uma instituição internacional dedicada ao desenvolvimento e implementação de padrões globais.

Na década de 1990, não existiam regras específicas para a comunicação entre etiquetas e leitores. Entre 2002 e 2005, as indústrias passaram a utilizar o EPCGen1. Ele foi utilizado como piloto e permitiu que os usuários tivessem contato com a nova tecnologia RFID.

Na época, o objetivo principal para o desenvolvimento do EPCGen1, era simplesmente a substituição dos códigos de barra [6]. A comunicação era unidirecional, ou seja, somente as etiquetas podiam ser lidas. Os leitores não podiam enviar comandos. As etiquetas utilizadas pertenciam as classes 1 e 2. Dessa forma, a tecnologia não permitia que leitores modificassem os dados contidos nas etiquetas.

O EPCGen1 continuou no mercado até meados de 2005, quando a segunda geração do padrão da EPCglobal foi definitivamente adotada.

2.3.2. EPCglobal Geração 2

O EPCGen2, foi divulgado pela EPCglobal em 2004. Ele procurou aliar as limitações de custo da tecnologia RFID com uma comunicação eficiente e segura. A maioria dos protocolos de comunicação de sistemas RFID propostos tem como base o padrão EPCGen2.

Na segunda geração, leitores e etiquetas já podiam transmitir e receber dados, mas não simultaneamente. Em um instante um dos dispositivos assume o papel de transmissor e o outro representa o receptor. Em outro instante a inversão de papéis pode ocorrer. Os leitores realizam a transmissão de dados para as etiquetas através da modulação de sinais de radio frequência. As etiquetas são passivas, recebendo a energia necessária para seu funcionamento a partir dos leitores.

Foi definido que a memória da etiqueta deveria armazenar duas senhas. Uma delas, denominada *kill password*, é utilizada por leitores para desabilitar a etiqueta. A outra senha, denominada *access password*, é utilizada na autorização da escrita e leitura na memória. Outra região da memória está reservada para o *Electronic Product Code* (EPC), o identificador único da etiqueta [7]. Na Figura 3 é possível ver a estrutura desse campo.

Versão	Código do fabricante	Classe do objeto	Número de série
8 bits	28 bits	24 bits	36 bits

Figura 3. *Electronic Product Code*.

Os leitores devem interagir com as etiquetas através de três operações básicas [7]:

- *Select*: para escolher uma etiqueta;
- *Inventory*: para identificar a etiqueta;
- *Access*: para escrever ou ler na memória da etiqueta;

Quando um leitor recebe respostas de várias etiquetas simultaneamente, ocorre interferência entre os sinais, impossibilitando a correta identificação dos objetos. Para evitar esse problema, é preciso especificar um protocolo anticolisão a ser utilizado. No Capítulo 3 os algoritmos anticolisão serão analisados com maiores detalhes.

2.3.3. ISO 18000

A ISO, sendo uma entidade de determinação de padrões muito respeitada [8], também participou no processo de padronização da tecnologia RFID, publicando a chamada série ISO 18000. São um conjunto de documentos que descrevem um padrão de identificação e gerenciamento de itens, utilizando sistemas que operam em diversas frequências [9].

Esse padrão restringe-se à definição do protocolo de comunicação sem fio, denominado *Air Interface Protocol* (AIP). No padrão da ISO, ao contrário dos padrões estabelecidos pela EPCglobal, não há nenhuma regra a respeito da arquitetura dos componentes dos sistemas RFID. Assim, a implementação física é deixada para a indústria. A ISO, ao restringir seu padrão à comunicação sem fio, tentou torná-lo mais abrangente e coerente com futuras evoluções da tecnologia RFID.

Há uma grande discussão a respeito do uso do padrão EPCGen2 e do padrão ISO 18000 [10]. Pela abrangência do padrão ISO, é possível que algumas implementações obedeçam o AIP, mas ignorem as especificações da EPCglobal. O problema gerado pela diferença entre as padronizações pode gerar sistemas incompatíveis criados por desenvolvedores diferentes. Para que isso não ocorra, as duas instituições deveriam entrar em acordo com o objetivo de popularizar os sistemas RFID.

2.4. Resumo

Nesse capítulo vimos que os sistemas RFID possuem uma arquitetura simples, tendo como base a interação entre etiquetas e leitores. As etiquetas são capazes de identificar inequivocamente os objetos onde são implantadas. Os leitores realizam consultas às etiquetas e, em seguida, procuram informações em banco de dados para obter dados úteis a respeito de cada objeto onde a etiqueta está acoplada.

As etiquetas passivas funcionam capturando a energia emitida pelos leitores. Ao contrário das anteriores, as etiquetas ativas são dotadas de uma bateria, que fornece toda a energia necessária. Já as etiquetas semi-passivas, utilizam a energia emitida pelos leitores para a comunicação e a energia de uma bateria para outras funções. Uma

classificação de etiquetas foi definida pelo MIT Auto-ID Center, dessa forma elas são divididas em cinco classes de acordo com suas funções.

Para os sistemas RFID se tornarem populares, a padronização importantíssima. A primeira instituição a definir um padrão foi a EPCglobal, a qual divulgou o EPCGen1. Com esse primeiro padrão, os sistemas RFID não passavam de substitutos do código de barras. Não era possível obter maiores informações a respeito dos itens onde as etiquetas estavam acopladas. Em seguida, veio o EPCGen2 que trouxe novas funções para leitores e etiquetas. A comunicação entre leitores e etiquetas tornou-se bidirecional, os leitores agora podiam modificar informações das etiquetas e com isso os itens portadores de etiquetas poderiam ser acompanhados.

A ISO foi outra instituição que participou do processo de padronização da tecnologia RFID. Ela apenas definiu regras para a comunicação sem fio. Dessa maneira, não foi definido nenhum requisito para a arquitetura do sistema. Em decorrência disso, criou-se uma competição entre os padrões ISO e EPCGen2. Portanto, o estabelecimento de um padrão único traria grandes benefícios para a popularização dos sistemas RFID.

CAPÍTULO 3

PROTOCOLOS ANTICOLISÃO

Um sistema RFID depende da correta comunicação entre etiquetas e leitores. Quando várias etiquetas tentam enviar mensagens simultaneamente, o leitor fica impossibilitado de identificá-las. Neste capítulo, o problema da colisão será detalhado, em seguida, serão apresentados alguns protocolos capazes de controlar o acesso ao canal de comunicação entre etiquetas e leitores.

3.1. O problema da colisão

Quando um leitor envia um comando de consulta a uma etiqueta, esta recebe energia suficiente para fornecer uma resposta, que contém o seu identificador (Figura 4a). Entretanto, caso o comando de consulta do leitor for respondido por mais de uma etiqueta ao mesmo tempo, os sinais de resposta interferirão entre si, tornando difícil o correto recebimento da informação (Figura 4b). Nesse caso, o leitor não consegue identificar as etiquetas. Esse fenômeno é chamado de colisão [11].

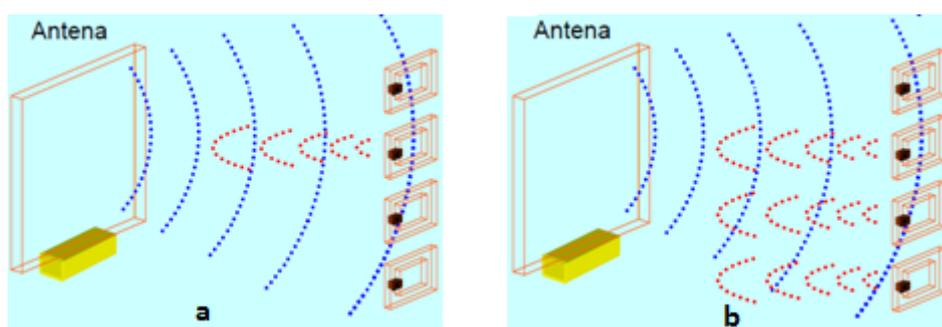


Figura 4. Processo de leitura de etiquetas.

Para evitar o fenômeno descrito acima, foram desenvolvidos os protocolos anticolisão. Eles estabelecem regras na troca de informações entre etiquetas e leitores, reduzindo o número de colisões e permitindo a identificação de múltiplas etiquetas na mesma área de cobertura do leitor. A seguir, serão descritos alguns protocolos anticolisão.

3.2. Protocolo Frame-Slotted ALOHA

O Frame-Slotted ALOHA (FSA) [12] é um protocolo probabilístico, que têm por princípio a redução da probabilidade de ocorrência de colisões, buscando, para isso, fazer com que as etiquetas respondam às requisições do leitor em tempos distintos.

A ideia básica desse protocolo consiste no agrupamento de *slots* em *frames*, onde cada *frame* contém um número N fixo de *slots*. Sendo um *slot* o intervalo de tempo necessário para a transmissão completa do identificador da etiqueta para o leitor.

No FSA, as etiquetas transmitem apenas uma vez em cada *frame* em um *slot* selecionado aleatoriamente. Como vantagens é possível citar a limitação da frequência de resposta das etiquetas, o que diminui o risco de colisão, e, se a quantidade necessária de envios dos identificadores for menor, conseqüentemente, há uma menor sobrecarga. Cada etiqueta transmite seu identificador para o leitor no *slot* de um *frame* e o leitor identifica a etiqueta quando recebe esse identificador sem colisão [12].

O leitor envia às etiquetas informações sobre o tamanho do *frame* e um número aleatório que será usado para selecionar um *slot* no *frame*. Se a etiqueta estiver alocada sozinha naquele *slot* (não havendo, desta forma, colisão) ela responde ao leitor através daquele *slot*. A Figura 5 apresenta esboço do funcionamento do FSA.

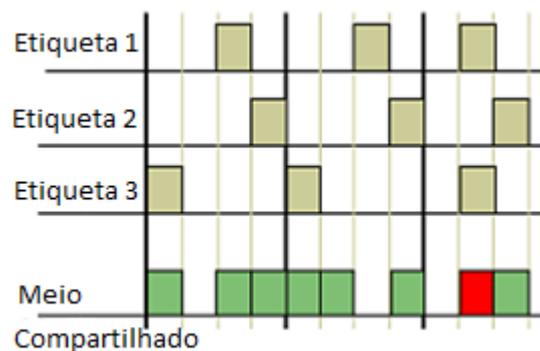


Figura 5. Funcionamento do FSA.

3.3. Protocolo Dynamic Frame-Slotted ALOHA

O Dynamic Frame-Slotted ALOHA (DFSA) [13] é uma extensão do FSA. A principal diferença é a alteração dinâmica do tamanho do *frame* para uma identificação mais

eficiente. O tamanho de cada *frame* subsequente ao inicial é calculado com base na estimativa da quantidade de etiquetas que competiram no *frame* anterior. Um dos problemas existentes é como estimar tal população de etiquetas da forma mais precisa possível, já que o número de etiquetas que estão ao alcance do leitor varia de forma aleatória, e relacionar a estimativa em função de cálculo de tamanho de *frame*.

Atualmente, existem diversos estimadores propostos na literatura [14-17]. Contudo, DFSA é um dos protocolos mais utilizados na atualidade. Diversos autores propõem modificações para esse protocolo com o intuito de melhorar ainda mais o processo de identificação.

Neste trabalho, foi decidido utilizar o DFSA com o estimador descrito por Schoute [14]. Esse estimador calcula o tamanho do *frame* posterior como sendo o resultado da multiplicação do número total de *slots* em colisão no *frame* finalizado por um fator igual a 2,39. Tal fator é o número esperado de etiquetas que transmitirão em cada *slot* em colisão no próximo *frame*. Assim, o estimador de Schoute define o tamanho do próximo *frame* como:

$$\hat{f} = 2,39 \cdot s_c.$$

Essa equação é obtida considerando um processo de distribuições do tipo Poisson. Caso o processo de chegada de informações ao leitor respeite outras distribuições, a equação torna-se uma aproximação subótima.

3.4. Protocolo Grouping-Based Dynamic Frame-Slotted ALOHA

O Grouping-Based Dynamic Frame-Slotted Aloha (GB-DFSA) [18] é um protocolo híbrido que utiliza o FSA e o DFSA. Além disso, ele aplica a técnica “Dividir e Conquistar” para obter uma maior eficiência na identificação de etiquetas. Quando as etiquetas são divididas em vários grupos pequenos e a identificação é feita grupo a grupo usando DFSA obtém-se um melhor desempenho do que a identificação sem particionamento. Diante desse fato, é preciso levar em consideração qual quantidade de grupos faz o GB-DFSA alcançar uma maior eficiência na identificação.

O processo de identificação do GB-DFSA consiste em duas fases. Na primeira fase as etiquetas são agrupadas e na segunda fase os grupos são identificados em sequência. Na primeira fase, o leitor estima o número de grupos necessário a partir de uma série de provas. Depois que o número de grupos é estimado, o GB-DFSA entra na fase de identificação. Nessa fase o GB-DFSA distingue todas as etiquetas no número de grupos estimados na primeira fase e então usa o DFSA para identificar as etiquetas grupo a grupo até que todas as etiquetas sejam identificadas.

Na Figura 6 é possível visualizar o pseudocódigo do algoritmo do GB-DFSA. Ele tem um argumento, *tags*, que representa o conjunto de etiquetas que está pronto para ser identificado. São definidas seis variáveis, sendo *f* o tamanho do *frame*, *s* a quantidade de grupos, p_{th} o threshold, *i* o número de iterações de prova na fase de agrupamento, *m* o fator de fração, e *tags_g* representa as etiquetas de um grupo. Na primeira prova, as etiquetas são vistas como um único grupo e são identificadas usando FSA com tamanho de *frame f*. A função **FSA()** possui dois argumentos, *tags_g*, grupo de etiquetas que precisa ser identificado e o tamanho de *frame f* desta prova. Depois que esta prova é finalizada, a função **FSA()** retorna o número de *slots* em colisão, n_c , e então verifica se o predicado $(2,39*n_c > p_{th})$ é verdadeiro ou falso. Se for verdadeiro, o contador de iterações é incrementado, e o número de grupos é alterado para m^{i-1} . O GB-DFSA, em seguida, escolhe randomicamente um dos m^{i-1} grupos para executar a próxima iteração de prova. Se o predicado $(2,39*n_c > p_{th})$ é falso, a fase de agrupamento termina e a fase de identificação é iniciada com m^{i-1} grupos.

Na fase de identificação, o GB-DFSA usa o DFSA para identificar as etiquetas grupo a grupo. Inicialmente, o GB-DFSA altera o valor de *f* para p_{th} . Em seguida, é utilizada a função **DFSA()** com dois argumentos, o conjunto de etiquetas não identificadas, *group*, e o tamanho do *frame* inicial, *f*, para identificar o primeiro grupo. As etiquetas identificadas são armazenadas no conjunto *identified tags*. Na identificação de outros grupos, o tamanho do *frame* inicial do DFSA é alterado para a média do número de etiquetas identificadas nos grupos anteriores. É usado um laço e a função **DFSA()** para identificar grupo a grupo. A função **DFSA()** recebe então dois argumentos, o grupo ainda não identificado, *group*, e *f*. Ela retorna o conjunto de etiquetas que acabaram de ser identificadas. Esse conjunto é adicionado a *identified tags*. O laço acaba quando a identificação de todos os grupos é

encerrada. Depois que as duas fases são completadas, o conjunto *identified tags* é retornado e o GB-DFSA é encerrado.

```

GB-DFSA(tags) {
    f = 4; // Frame size
    s = 1; // the number of group
    pth = 8; // Threshold
    i = 1; // the number of iteration
    m = 4;
    tagsg = tags;
    //grouping phase
    do {
        nc = FSA(tagsg, f);
        if (2.39*nc > pth)
            i = i + 1;
        s = mi-1;
        [group1, ..., groups] = grouping (tags, s);
        // random choose one of the groups
        tagsg = random ([group1, ..., groupmi-1]);
    } until (2.39*nc <= pth)
    //identification phase
    f = pth;
    group = group1;
    identified tags = DFSA(group, f);
    for i = 2 to s do{
        f = number(identified tags) / (i-1);
        group = groupi;
        identified tags
            = identified tags U DFSA(group, f);
    }
    return identified tags
}

```

Figura 6. Pseudocódigo do algoritmo usado pelo GB-DFSA.

3.5. Resumo

Quando o comando de consulta do leitor é respondido por mais de uma etiqueta ao mesmo tempo, os sinais de resposta interferirão entre si, impedindo a identificação. Esse fenômeno é chamado de colisão. Para evitar esse problema foram criados os protocolos anticisão, que controlam o acesso ao canal de comunicação entre etiquetas e leitores e permitem a identificação de múltiplas etiquetas na mesma área de cobertura do leitor.

No protocolo FSA ocorre o agrupamento de *slots* em *frames*, onde cada *frame* contém um número N fixo de *slots*. Sendo um *slot* o intervalo de tempo necessário para a transmissão completa do identificador da etiqueta para o leitor.

No DFSA, o tamanho do *frame* é alterado dinamicamente para uma identificação mais eficiente. O tamanho de cada *frame* subsequente ao inicial é calculado com base na estimativa da quantidade de etiquetas que competiram no *frame* anterior. Atualmente, existem diversas maneiras de estimar a quantidade de etiquetas que competiram no *frame* anterior.

Já o GB-DFSA propõe uma abordagem híbrida, usando o FSA, o DFSA e particionando as etiquetas que estão ao alcance do leitor. A partir da utilização da técnica “Dividir e Conquistar”, o GB-DFSA consegue obter uma maior eficiência na identificação. As etiquetas são divididas em grupos e em seguida os grupos são identificados em sequência. Sendo a determinação da quantidade de grupos, uma tarefa extremamente importante no processo.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E SIMULAÇÕES

Neste capítulo, foram realizados experimentos para avaliar o desempenho do GB-DFSA e do DFSA [14] através de simulações. Foi desenvolvido um simulador para realizar os experimentos. A partir da análise dos experimentos verificou-se como o GB-DFSA consegue superar o desempenho do DFSA.

4.1. Validação do simulador

No simulador apenas um leitor foi usado para identificar as etiquetas. O canal de comunicação entre o leitor e as etiquetas é ótima, ou seja, livre de erros. A métrica de desempenho nos experimentos é a vazão (razão entre número de *slots* com apenas uma etiqueta e o número total de *slots* no processo de identificação). O simulador foi implementado usando JAVA e gera arquivos de texto contendo os dados para a plotagem dos gráficos. Os gráficos foram gerados utilizando o Microsoft Excel 2010. Na Figura 7 é possível ver a interface gráfica do simulador.

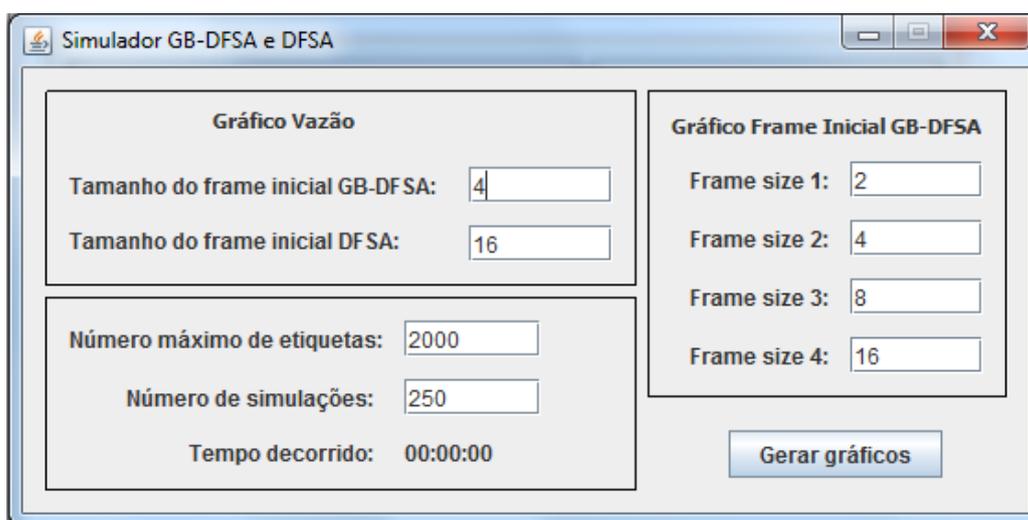


Figura 7. Interface gráfica do simulador.

No primeiro experimento, foi feita uma comparação entre a vazão dos dois protocolos quando o número de etiquetas varia de 100 a 2000, aumentando as etiquetas a passos de 100. Foram executadas 250 simulações e os resultados são apresentados com intervalo confiança de 95%. O tamanho do *frame* inicial para o DFSA foi colocado em 16 e o do GB-DFSA foi posto em 4. A Figura 8 mostra uma comparação dos resultados obtidos em [18], à esquerda, com os resultados obtidos a partir do simulador, à direita.

No primeiro experimento, observou-se que o GB-DFSA obteve uma vazão de cerca de 40% e o DFSA ficou na faixa de 32%. Isso mostra que a estratégia de dividir as etiquetas em grupos pequenos funciona. Além disso, a vazão do GB-DFSA, na condição do número de etiquetas desconhecido, ultrapassa o limite teórico de 36,8%. Outra característica importante é que exceto quando o número de etiquetas é igual a 100, a linha do GB-DFSA é quase horizontal e esse fenômeno demonstra que a vazão do GB-DFSA não é sensível ao número de etiquetas.

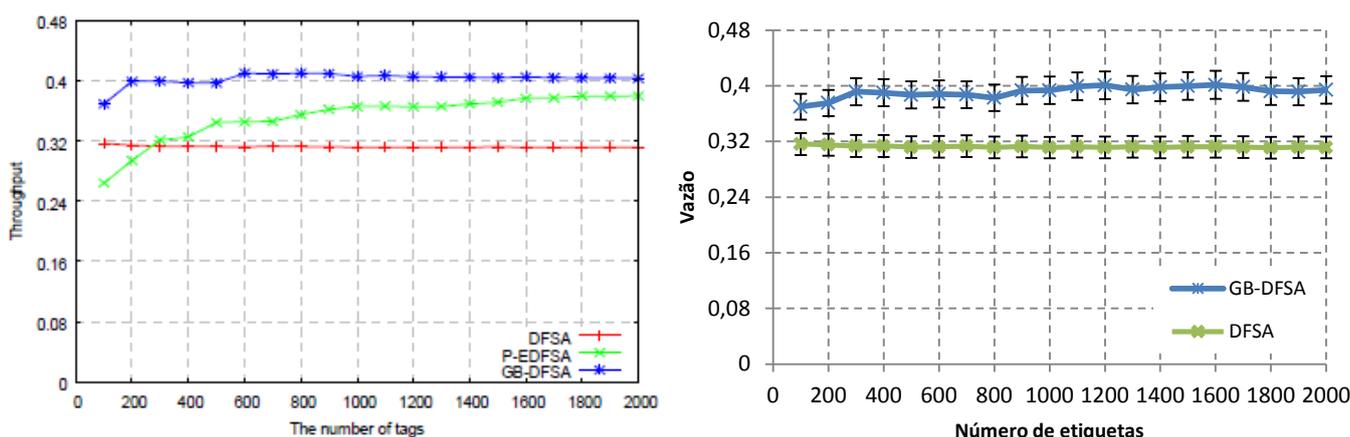


Figura 8. Comparação dos resultados obtidos no primeiro experimento.

No segundo experimento, foi analisado o efeito do tamanho do *frame* inicial na vazão do GB-DFSA. Foram realizadas 250 simulações e o gráfico mostra a média dos resultados. O tamanho do *frame* inicial foi variado entre 2, 4, 8 e 16. A Figura 9 mostra uma comparação dos resultados em [18], à esquerda, com os resultados obtidos a partir do simulador, à direita.

Analisando o gráfico do segundo experimento, é possível observar que quando o tamanho do *frame* inicial é igual a 4, a vazão é maior. Isso ocorre porque a quantidade de etiquetas por grupo é menor quando o tamanho do *frame* inicial é igual a 4. Acompanhando a ideia de que quando o número de etiquetas é pequeno e o tamanho do *frame* é igual à quantidade de etiquetas, a vazão aumenta a medida que o número de

etiquetas diminui. Por isso, colocar o tamanho do *frame* inicial igual a 4 é melhor do que colocar 8 ou 16. Outro resultado que precisa ser discutido é que a vazão com o *frame* inicial 4, superou a vazão com o *frame* inicial igual a 2. Isso ocorre porque o GB-DFSA não consegue distribuir as etiquetas de forma uniforme, então alguns grupos podem ficar vazios. Como a identificação de grupos vazios não melhora a vazão, colocar o tamanho *frame* inicial igual a 4 é melhor do que pôr 2.

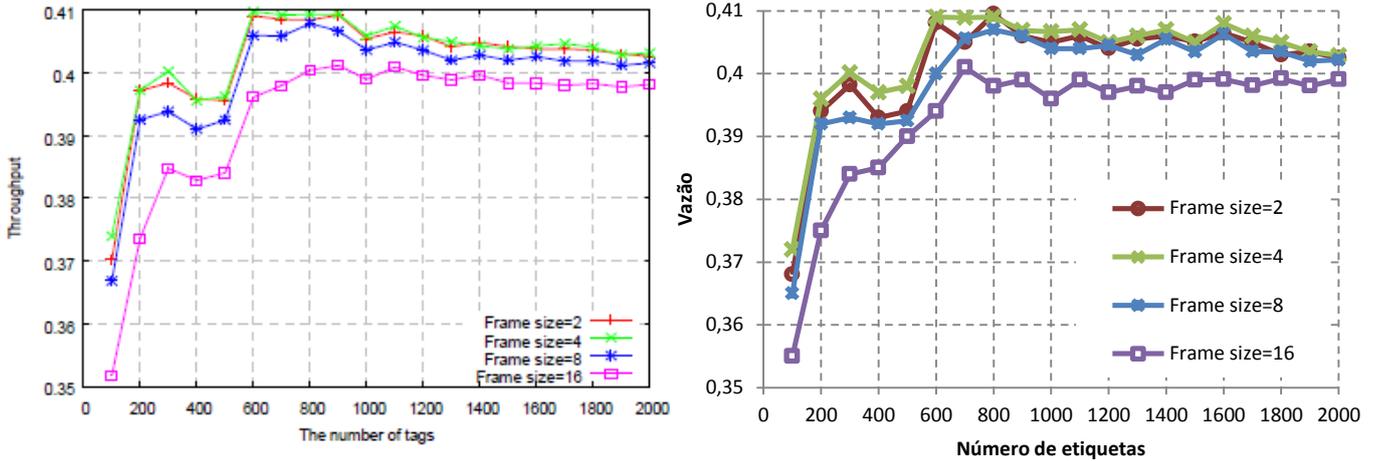


Figura 9. Comparação dos resultados obtidos no segundo experimento.

4.2. A vazão ótima

A fim de compreender a existência da alocação ótima de *slots* no FSA [19], consideramos o caso em que n *slots* são alocados em um *frame* para ler m etiquetas. A probabilidade de um *slot* está ocupado por apenas uma etiqueta é

$$p_s = m \frac{1}{n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{m-1}.$$

Logo, a expectativa do número de *slots* ocupados por apenas uma etiqueta é

$$E[n_s] \triangleq np_s.$$

A vazão η é definida como (a razão entre o número de *slots* com apenas uma etiqueta e o número total de *slots* usados)

$$\eta \triangleq \frac{E[n_s]}{n} = \frac{m}{n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{m-1}.$$

Diferenciando a equação anterior, obtemos a vazão máxima quando $n = m$. Então, a vazão máxima η_m é obtida quando o número de *slots* alocados num *frame* é igual ao número de etiquetas. A vazão máxima η_m pode ser expressa em função de n :

$$\eta_m(n) = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1}.$$

Quando n aumenta a vazão máxima η_m se aproxima de $1/e$ ($\cong 0,368$) como pode ser visto na Figura 10.

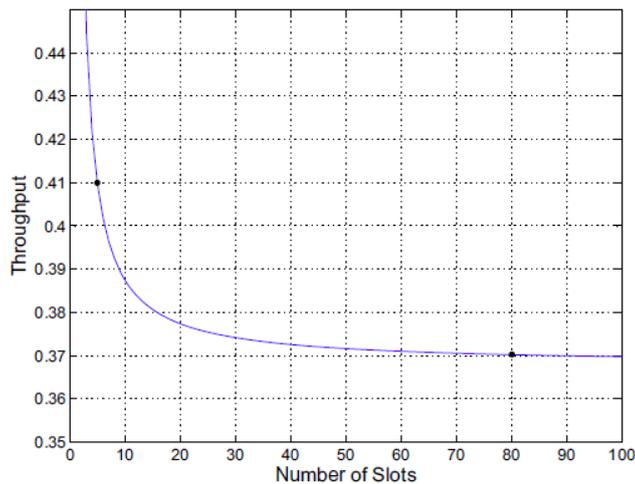


Figura 10. Vazão máxima em função tamanho do *frame* (n).

4.3. Ultrapassando a vazão ótima

De forma similar ao FSA, as condições para o DFSA atingir a vazão ótima são as mesmas. Diante disso, uma interessante observação pode ser feita na Figura 7: uma vazão maior pode ser alcançada usando a técnica “Dividir e Conquistar”. Tal resultado é obtido dividindo o conjunto de etiquetas em múltiplos subconjuntos menores de tamanho aproximadamente iguais e cada subconjunto identificado em sequência. Por exemplo, suponha que 80 etiquetas precisam ser identificadas e esse número é conhecido pelo leitor. Nesse cenário ideal é possível alcançar em torno de 37% de vazão sem particionamento, contra cerca de 41% de vazão particionando as

etiquetas em 16 subgrupos de tamanho igual (5 etiquetas em cada grupo). Diante dessa análise, há um ganho de 4% de vazão executando o particionamento. No entanto, tal ganho dificilmente é alcançado na prática por duas razões [18]:

1. Devido à natureza randômica de processo de particionamento, etiquetas dificilmente serão divididas em subgrupos de tamanho exatamente igual;
2. Sobrecarga de particionamento não é desprezível, quando vários subgrupos são necessários.

Degradação de desempenho devido a esses dois fatores não pode ser descartada, mas o GB-DFSA tenta minimizar os problemas mencionados acima impedindo o que exista uma quantidade de grupos muito grande e com poucas etiquetas.

Utilizando o particionamento, o GB-DFSA busca tirar vantagem de duas características do DFSA:

1. Se o número de etiquetas e o número de *slots* são ilimitados e o número de *slots* é igual o número de etiquetas, a vazão ótima é cerca de 36,8%;
2. Se o número de etiquetas é pequeno e o tamanho do *frame* é igual ao número de etiquetas, a vazão deve exceder 36,8%.

4.4. Resumo

A partir da análise dos resultados das simulações, observou-se que o GB-DFSA é cerca de 8% superior que o DFSA, tomando a vazão como métrica. Diante disso, é evidente que a técnica “Dividir e Conquistar” utilizada pelo GB-DFSA trouxe benefícios. Em seguida, verificou-se que manter o tamanho do *frame* inicial em 4 proporciona um melhor desempenho no processo de identificação.

Por meio de cálculos probabilísticos descobriu-se que a vazão ideal do FSA é de cerca de 36,8%. E essa vazão é alcançada quando o número de etiquetas e o número de slots são ilimitados e o número de slots é igual o número de etiquetas.

De forma similar ao FSA, as condições para o DFSA atingir a vazão máxima são as mesmas. Diante disso, o GB-DFSA tira proveito das características do DFSA para ultrapassar a vazão ideal. Tal resultado é obtido dividindo o conjunto de etiquetas em múltiplos subconjuntos menores de tamanho aproximadamente iguais e cada subconjunto identificado em sequência.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

É evidente que a tecnologia RFID é promissora no processo de identificação e leitura automatizada. Em breve, à medida que o sistema for se popularizando, as pessoas estarão rodeadas de inúmeras etiquetas, anexadas aos mais variados objetos.

As aplicações, que fazem uso de sistemas RFID, são interessantes e inovadoras. O uso de etiquetas nos produtos de um supermercado facilita o processo de pagamento e evita filas no estabelecimento. Além disso, o controle de estoque dos produtos seria muito mais fácil e eficiente. O sistema também pode ser implantado em bibliotecas para controlar o empréstimo de livros.

Os sistemas RFID possuem uma arquitetura bastante simplificada. Assim, é possível utilizar etiquetas em objetos de custo reduzido. Geralmente, os componentes principais dos sistemas RFID são leitores e etiquetas. Os leitores se comunicam com banco de dados, com o intuito de obter maiores informações a acerca dos itens consultados.

Um tópico de extrema importância é a padronização dessa tecnologia. A existência de diversos padrões dificulta o processo e impede que a tecnologia seja popularizada. A adoção definitiva de um padrão único representaria um grande avanço para a tecnologia RFID.

Um sistema RFID depende da correta comunicação entre etiquetas e leitores. Quando várias etiquetas tentam enviar mensagens simultaneamente, o leitor fica impossibilitado de identificá-las. Com o objetivo de evitar a colisão de informações, diversos protocolos anticolisão vêm sendo desenvolvidos.

Neste trabalho foi estudado como o uso da técnica “Dividir e Conquistar” pode melhorar a identificação em sistemas RFID. Como estudo de caso foi utilizado o protocolo GB-DFSA que propõe o particionamento das etiquetas em grupos pequenos e a identificação em sequência desses grupos. Esse método consegue ultrapassar o limite ótima de vazão de 36,8%.

Foi desenvolvido um simulador para realizar experimentos de comparação entre o desempenho do GB-DFSA e do DFSA. A partir da análise dos resultados, verificou-se que o

GB-DFSA consegue uma vazão de cerca de 40% e o DFSA chega a cerca de 32%. A melhora de 8% foi graças a utilização da técnica “Dividir e Conquistar” que aumentou a eficiência no processo de identificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. P.-Lopez, J. H.-Castro, J. M. E.-Tapiador, A. Ribagorda. M2AP: A Minimalist Mutual-Authentication Protocol for low-cost RFID tags. In Proceedings of Third Int'l Conf. Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC'06), 2006.
- [2] R. Want, The Magic of RFID, Queue Magazine, pages 40–48, Vol. 6, No. 7, 2004.
- [3] S. Gaudin, Researcher: RFID market to hit \$9.7 billion by 2013, Computer World. Acessado em 12 de abril de 2011, disponível em <http://tinyurl.com/6498a8k>
- [4] C. G. Bernardo, A tecnologia RFID e os benefícios da etiqueta inteligente para os negócios, Acessado em 18 de junho de 2011, disponível em <http://tinyurl.com/ybb6h4g>
- [5] D. W. Engels, S. E. Sarma, Standardization Requirements within the RFID Class Structure Framework, Auto-ID Labs White Paper Series, Ed. 1, 2005.
- [6] RFID Report Card: Evaluating the Enterprise, Acessado em 18 de junho de 2011, disponível em http://www.peaktech.com/files/PEAKFall05_Feature.pdf
- [7] EPCglobal Inc., EPC Radio-Frequency Identify Protocols Class-1 Generation 2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz, 1.2.0 edition, 2008.
- [8] C. S. Passaretti, RFID: identificação por radiofrequência movendo-se para o futuro, Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) Universidade de Brasília, 2008.
- [9] Zebra Technologies. RFID: The next generation of AIDC. Technical report, 2005.
- [10] C. Turner. EPC and ISO 18000-6. RFID Journal, 2003.
- [11] A. F. Cunha, RFID – Etiquetas com eletrônica de ponta-RFID, Revista Saber Eletrônica, No 401, páginas 20-25, 2008.
- [12] S. Piramuthu, Adaptive Framework for Collisions in RFID Tag Identification. Journal of Information & Knowledge Management, 7(1), pp. 9–14, 2008.
- [13] J. D. Andrade, P. A. Gonçalves, 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), pp. 61-74, 2011.
- [14] F. C. Schoute, Dynamic Frame Length ALOHA, IEEE Transactions on Communications Letters, Vol. 31, No 4, pp. 565-568, 1983.
- [15] H. Vogt, F. Mattern, and M. Naghshineh, Efficient object identification with passive RFID tags, in Proceedings First International Conference on Pervasive Computing, pp. 98-113, 2002.
- [16] W.-T. Chen and G.-H. Lin, An efficient anti-collision method for RFID system, in IEICE Trans. Commun., vol. E89, no. B, pp. 3386–3392, 2006.
- [17] J.-B. Eom and T.-J. Lee, Accurate Tag Estimation for Dynamic Framed-slotted ALOHA in RFID Systems. IEEE Communications Letters, Vol. 4, No 1, pp. 60-62, 2010.

[18] C. Wang, C. Lee, "A Grouping-Based Dynamic Framed Slotted ALOHA Anti-Collision Method with Fine Groups in RFID Systems", Future Information Technology (FutureTech) 2010, PP. 1-5, May 2010.

[19] W. Shin and J. Kim, Partitioning of tags for near-optimum RFID anticollision performance, in Proceedings Wireless Communications and Networking Conference 2007 (WCNC 2007), pp. 1673-1678, March 2007.