



PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

**Análise de Desempenho do Tráfego de Dados
Assíncronos sobre *Bluetooth***

Carlos Giovanni Nunes de Carvalho

Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco

posgraduacao@cin.ufpe.br

<http://www.cin.ufpe.br>

<ftp://ftp.cin.ufpe.br/pub/posgrad>

Recife (PE), fevereiro/2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE INFORMÁTICA – CIN
MESTRADO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Análise de Desempenho do Tráfego de Dados
Assíncronos sobre *Bluetooth*

Carlos Giovanni Nunes de Carvalho

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências da Computação.

Área de Concentração: Redes de Computadores

Orientador: Prof. Dr. Djamel F. H. Sadok

Recife (PE), fevereiro/2003

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter permitido que eu cumprisse mais uma etapa da minha vida, entre outras que virão.

Aos meus pais, Antônio Carlos e Hercília, que me deram força para que se tornasse possível à participação no mestrado.

Aos meus irmãos Joselisse, Clarisse e Gilvan, que sempre estiveram prontos para me ajudar e contribuíram nas atividades do curso.

A minha namorada Fabíola, que incentivou, torceu e apoiou, motivando-me cada vez mais para concluir os meus trabalhos.

A meu orientador, Prof. Dr. Djamel Sadok, que me guiou e mostrou a importância desse trabalho na minha vida.

A Prof. Dra. Judith Kelner, que me ajudou no desenvolvimento da dissertação.

Aos meus amigos, que me apoiaram e acompanharam todas as etapas desse trabalho.

Aos amigos da FAPEPI, AESPI e UESPI, por terem entendido a importância desse trabalho e a necessidade de me ausentar algumas vezes.

Índice

CAPÍTULO 1.0 – INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	2
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.3. TRABALHOS RELACIONADOS.....	3
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
CAPÍTULO 2.0 – TECNOLOGIA <i>BLUETOOTH</i>.....	5
2.1. VISÃO GERAL.....	6
2.1.1. APLICAÇÕES <i>BLUETOOTH</i>	7
2.1.2. DOCUMENTOS DA PADRONIZAÇÃO <i>BLUETOOTH</i>	8
2.1.3. ARQUITETURA DE PROTOCOLOS.....	9
2.1.4. MODELOS DE USO	11
2.1.5. <i>PICONETS</i> E <i>SCATTERNETS</i>	12
2.2. ESPECIFICAÇÃO DO RÁDIO	14
2.3. ESPECIFICAÇÃO DA BANDA BÁSICA.....	15
2.3.1. SALTOS DE FREQUÊNCIA	16
2.3.2. <i>LINKS</i> FÍSICOS	18
2.3.3. PACOTES	20
2.3.3.1. Código de Acesso	20
2.3.3.2. Cabeçalho do Pacote	22
2.3.3.3. Formato da Carga Útil	25
2.3.4. CORREÇÃO DE ERRO	26
2.3.5. CANAIS LÓGICOS	28
2.3.6. CONTROLE DE CANAL.....	29
2.3.6.1. Procedimentos de Investigação	30
2.3.6.2. Procedimento de Paginação	31
2.3.6.3. Estado de Conexão	32
2.3.7. ÁUDIO.....	33
2.3.8. SEGURANÇA	33
2.4. ESPECIFICAÇÃO DO <i>LINK MANAGER</i>	34
2.5. ESPECIFICAÇÃO DO CONTROLE LÓGICO DO <i>LINK</i> E PROTOCOLO DE ADAPTAÇÃO	35
2.5.1. CANAIS <i>L2CAP</i>	36
2.5.2. PACOTES <i>L2CAP</i>	37
2.5.3. MENSAGENS DE SINALIZAÇÃO.....	38
2.5.4. <i>QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS)</i>	40
2.6. <i>IP</i> SOBRE <i>BLUETOOTH</i>	43
2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
CAPÍTULO 3.0 – OTIMIZAÇÃO DO <i>LINK</i> ASSÍNCRONO	45
3.1. VISÃO GERAL.....	46
3.2. ESQUEMAS DE SEGMENTAÇÃO E REMONTAGEM (<i>SAR</i>).....	46

3.2.1.	PROCEDIMENTOS SAR.....	46
3.2.1.1.	Procedimentos de Segmentação	47
3.2.1.2.	Procedimentos de Remontagem	48
3.2.2.	ALGORITMOS SAR.....	49
3.2.2.1.	SAR – BF (<i>Best Fit</i>).....	49
3.2.2.2.	SAR – OSU (<i>Optimum Slot Utilization</i>).....	50
3.2.2.3.	SAR – Randômico.....	50
3.3	VARIANTES DO TCP.....	51
3.3.1.	MECANISMOS DE CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO DO TCP	52
3.3.1.1.	Temporizador	52
3.3.1.2.	Tempo de Ida e Volta (<i>RTT</i>).....	52
3.3.1.3.	Começo Lento (<i>Slow Start</i>)	53
3.3.1.4.	Evitar Congestionamento (<i>Congestion Avoidance</i>)	54
3.3.1.5.	Retransmissão Rápida (<i>Fast Retransmit</i>).....	54
3.3.1.6.	Recuperação Rápida (<i>Fast Recovery</i>)	55
3.3.2.	OPÇÃO DE RECONHECIMENTOS SELETIVOS	55
3.3.2.1.	Comportamento do Receptor	55
3.3.2.2.	Comportamento do Transmissor	56
3.3.3.	IMPLEMENTAÇÕES DO TCP.....	56
3.3.3.1.	<i>Tahoe</i>	57
3.3.3.2.	<i>Reno</i>	57
3.3.3.3.	<i>New Reno</i>	58
3.3.3.4.	<i>SACK</i>	58
3.3.3.5.	<i>Vegas</i>	59
3.4.	OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO LINK.....	60
3.4.1.	OTIMIZAÇÃO DO TAMANHO DE <i>BUFFER</i>	60
3.4.2.	ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO	60
3.4.3.	MANIPULAÇÃO DE ERROS	61
3.4.4.	NÚMERO DE CONEXÕES <i>SCO</i>	61
3.4.5.	MECANISMOS DE <i>QoS</i>	62
3.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62

CAPÍTULO 4.0 – ANÁLISE DE DESEMPENHO DO TRÁFEGO DE DADOS ASSÍNCRONOS

4.1.	TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	65
4.2.	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	65
4.3.	MÉTRICAS.....	65
4.4.	TOPOLOGIA E PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO	66
4.5.	RESULTADOS	69

CAPÍTULO 5.0 – CONCLUSÃO.....

5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.2.	CONTRIBUIÇÕES.....	77
5.3.	TRABALHOS FUTUROS	77
5.4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

ANEXOS.....

SCRIPTS DA SIMULAÇÃO.....	83
CÓDIGO ALTERADO.....	84

Índice de Figuras

Figura 1: Pilha de Protocolos <i>Bluetooth</i>	9
Figura 2: <i>Piconet</i> e <i>Scatternet</i>	13
Figura 3: <i>TDD</i> e <i>Timing</i>	17
Figura 4: Pacotes <i>Multislots</i>	17
Figura 5: Formato do Pacote Padrão.....	20
Figura 6: Formato do Cabeçalho	22
Figura 7: Formato do Pacote <i>DV</i>	23
Figura 8: Diagrama de Estados do <i>LC</i>	30
Figura 9: Arquitetura de Protocolos <i>Bluetooth</i>	35
Figura 10: <i>L2CAP</i> dentro das Camadas de Protocolos	36
Figura 11: Canais entre Dispositivos	37
Figura 12: Segmentação <i>L2CAP</i>	47
Figura 13: Primeiro Cenário da Simulação (Variantes do <i>TCP</i>).....	67
Figura 14: Segundo Cenário da Simulação (Tráfego <i>CBR</i>)	68
Figura 15: Atraso com <i>SAR-BF</i> e <i>TCP New Reno</i>	70
Figura 16: Vazão com <i>SAR-BF</i> e <i>TCP New Reno</i>	72

Índice de Tabelas

Tabela 1: Parâmetros de Rádio e Banda Básica do <i>Bluetooth</i>	14
Tabela 2: Alocações de Freqüências Internacionais <i>Bluetooth</i>	15
Tabela 3: Taxa de Dados Possíveis no <i>Link ACL</i>	19
Tabela 4: Tipos de Código de Acesso	21
Tabela 5: Tipos de Pacotes <i>Bluetooth</i>	24
Tabela 6: Parâmetros do Cenário 1 – Variantes do <i>TCP</i>	66
Tabela 7: Parâmetros do Cenário 2 – Tráfego <i>CBR</i>	67
Tabela 8: Parâmetros <i>QoS</i> da Simulação	69
Tabela 9: Distribuição do Atraso com <i>SAR-BF</i> e Variantes do <i>TCP</i>	70
Tabela 10: Distribuição do Atraso com <i>SAR-OSU</i> e Variantes do <i>TCP</i>	71
Tabela 11: Distribuição de Atraso com <i>SAR-Randômico</i> e Variantes do <i>TCP</i>	71
Tabela 12: Vazão com <i>SAR-BF</i> e Variantes do <i>TCP</i>	73
Tabela 13: Vazão com <i>SAR-OSU</i> e Variantes do <i>TCP</i>	73
Tabela 14: Vazão com <i>SAR-Randômico</i> e Variantes do <i>TCP</i>	73
Tabela 15: Perda de pacotes (%) em todos os algoritmos <i>SAR</i> e Variantes do <i>TCP</i>	74

Lista de Acrônimos

<i>ACK</i>	<i>Acknowledgment</i>
<i>ACL</i>	<i>Link Asynchronous Connection-Less</i>
<i>AM_ADDR</i>	<i>Active Member Address</i>
<i>ARQ</i>	<i>Automatic Repeat reQuest</i>
<i>BCH</i>	Tipo de código <i>Bose, Chaudhuri & Hocquenghem</i> . As pessoas a qual descobriram este código em 1959 (<i>H</i>) e 1960 (<i>B&C</i>)
<i>BD_ADDR</i>	<i>Bluetooth Device Address</i>
<i>BE</i>	<i>Best Effort</i>
<i>BER</i>	<i>Bit Error Rate</i>
<i>BT</i>	<i>Bluetooth</i>
<i>CAC</i>	<i>Channel Access Code</i>
<i>CBR</i>	<i>Constant Bit Rate</i>
<i>CL</i>	<i>ConnectionLess</i>
<i>CRC</i>	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
<i>CVSD</i>	<i>Continuous Variable Slope Delta Modulation</i>
<i>CWND</i>	<i>Congestion Window</i>
<i>DAC</i>	<i>Device Access Code</i>
<i>DH</i>	<i>Data-High Rate Data</i> tipo de pacote para alta taxa de dados
<i>DIAC</i>	<i>Dedicated Inquiry Access Code</i>
<i>DM</i>	<i>Data-Medium Rate</i> tipo de pacote para taxa média de dados
<i>DV</i>	<i>Data Voice</i> tipo de pacote para dados e voz
<i>ETSI</i>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<i>FEC</i>	<i>Código Forward Error Correction</i>
<i>FH</i>	<i>Frequency Hopping</i>
<i>FHS</i>	<i>Frequency Hop Synchronization</i>
<i>FSK</i>	<i>Frequency Shift Keying</i> tipo de modulação
<i>FTP</i>	<i>File Transfer Protocol</i>
<i>GFSK</i>	<i>Gaussian Frequency Shift Keying</i>
<i>GIAC</i>	<i>General Inquiry Access Code</i>
<i>HCI</i>	<i>Host Controller Interface</i>
<i>HEC</i>	<i>Header Error Check</i>
<i>HTTP</i>	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
<i>HV</i>	<i>High quality Voice</i> (pacote HV1)
<i>IAC</i>	<i>Inquiry Access Code</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electronic and Electrical Engineering</i>
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i>
<i>IrDA</i>	<i>Infra-red Data Association</i>
<i>IrMC</i>	<i>Ir Mobile Communications</i>
<i>ISDN</i>	<i>Integrated Services Digital Networks</i>
<i>ISM</i>	<i>Industrial, Scientific, Medical</i>
<i>L_CH</i>	<i>Logical Channel</i>
<i>L2CAP</i>	<i>Logical Link Control and Adaption Protocol</i>
<i>LAN</i>	<i>Local Área Network</i>
<i>LAP</i>	<i>Lower Address Part</i>
<i>LC</i>	<i>Link Controller</i> (ou <i>Baseband</i>) parte da pilha de protocolos <i>Bluetooth</i> manipulador de protocolo da camada inferior <i>Baseband</i>
<i>LCP</i>	<i>Link Control Protocol</i>

LM	<i>Link Manager</i>
LMP	<i>Link Manager Protocol para comunicações LM peer to peer</i>
LSB	<i>Least Significant Bit</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MSB	<i>Most Significant Bit</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
NAK	<i>Negative Acknowledgment</i>
NS	<i>Network Simulator</i>
OBEX	<i>Protocolo OBject EXchange</i>
OSI	<i>Organization Standard International</i>
OTCL	<i>Object Tool Control Language</i>
PAN	<i>Personal Área Network</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCM	<i>Pulse Coded Modulation</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistent</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PIN	<i>Personal Identification Number</i>
PM_ADDR	<i>Parked Member Address</i>
PPP	<i>Point-to-Point Protocol</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAND	<i>Random number</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RFC	<i>Request For Comments</i>
RFCOMM	<i>Protocolo emulador de cabo serial baseado no ETSI TS 07.10</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
RX	<i>Receiver</i>
SAR	<i>Segmentation and Reassembly</i>
SCO	<i>Link Synchronous Connection-Oriented</i>
SDP	<i>Service Discovery Protocol</i>
SEQN	<i>Esquema Sequential Numbering</i>
SIG	<i>Special Interest Group</i>
SRES	<i>Signed Response</i>
SSTHRESH	<i>Slow Start Threshold</i>
TCL	<i>Tool Control Language</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCP/IP	<i>Transport Control Protocol/Internet Protocol</i>
TCS	<i>Especificação Telephony Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TX	<i>Transmit</i>
UA	<i>Dados User Asynchronous</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UDP/IP	<i>User Datagram Protocol/Internet Protocol</i>
UI	<i>Dados de usuário User Isochronous</i>
US	<i>Dados User Synchronous</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
xDSL	<i>Digital Subscribe Line</i>

Resumo

Aplicações de dados, que funcionam sobre o *Bluetooth*, tais como *HTTP*, *FTP* e *real audio*, irão necessitar de protocolos da camada de transporte da arquitetura *TCP/IP* (*TCP* e *UDP*) para enviar pacotes sobre os *links wireless*. Para aumentar o desempenho destas aplicações é preciso otimizar os recursos existentes, que na maioria dos dispositivos para este tipo de tecnologia são escassos.

Alguns fatores influenciam o desempenho do tráfego de dados sobre estes dispositivos, normalmente, de tamanho reduzido e pouca autonomia de uso. Com isso, há uma crescente tentativa de torná-los mais eficientes, através do melhor aproveitamento de seus recursos.

Este trabalho contempla a análise e o aumento de performance do tráfego de dados usando o serviço assíncrono *Bluetooth*. Mostramos, através dos resultados, que o melhor algoritmo de Segmentação e Remontagem (*SAR*) é o de Melhor Ajuste (*BF*), que na média, apresenta maior vazão, menor atraso e variação de atraso nas transmissões e menor porcentagem de perda de pacotes. Quanto as variantes do *TCP*, o *Vegas* apresentou-se a melhor escolha, com uma vazão média maior, uma menor porcentagem de perda de pacotes, menor atraso e variação de atraso, mas devido não haver implementações dessa variante, a solução mais conveniente é a utilização do *New Reno*, uma vez que utilizado com o algoritmo *SAR-BF* obteve melhor desempenho que os demais.

Palavras chave: *Wireless*, *Bluetooth*, *Ad-hoc*, Variantes do *TCP*, *Segmentação e Remontagem (SAR)*.

Abstract

Applications of data, that work over Bluetooth, such as HTTP, FTP and real audio, they will need protocols of the layer of transport of the architecture TCP/IP (TCP and UDP) to send packages on the links wireless. To increase the performance of these applications it is necessary to optimize the existent resources, that in most of the devices for this technology tipo are scarce.

Some factors influence the performance of the traffic of data on these devices, usually, of reduced size and little use autonomy. With that, there is a tentative crescent of turning them more efficient, through of the best use of their resources.

This work contemplates the analysis and the increase of performance of the traffic of data using the asynchronous service Bluetooth. We showed, through the results, that the best algorithm of Segmentation and Reassembly (SAR) is the Best Fit (BF), that in the average, it presents larger throughput, smaller delay and variation of delay in the transmissions and smaller percentage of loss of packages. As the variants of TCP, Vegas came the best choice, with a larger medium throughput, a smaller percentage of loss of packages, smaller delay and variation of delay, but should not have implementations of that variant, the most convenient solution is New Reno's use, once used with the algorithm SAR-BF obtained better performance than the others.

Key Words: Wireless, Bluetooth, Ad-hoc, Variants of TCP, Segmentation and Reassembly (SAR).