

compare favorably with standard wavelet algorithms.

Título: Comunicações Ópticas em Espaço Livre para Ambientes Interiores: Modelação, Simulação e Optimização do Canal Óptico

Title: *Wireless Indoor Infrared Communications: Modelling, Simulation and Optimisation of the Optical Channel*

Autor/Author: Cipriano Rogério Alves Tavares Lomba

Orientadores/Advisors: A. Manuel de Oliveira Duarte e Rui Jorge Morais Tomaz Valadas

Data Apresentação/Acceptance Date: 12/97

Palavras Chave: Infravermelhos, comunicações sem fios, canal óptico, modelação, simulação, optimização, diagrama de radiação, perdas de propagação, resposta impulsional, diversidade angular, IEEE 802.11.

Key Words: *Infrared, wireless infrared communications, optical channel, modelling, simulation, optimisation, emitting radiation pattern, propagation losses, impulse response, angular diversity, IEEE 802.11.*

Doutoramento/Ph.D.

Resumo

Esta tese investiga a propagação de sinais ópticos em espaços interiores, dando particular atenção à modelação, simulação e optimização do canal, com vista ao desenvolvimento de redes de comunicação de área local sem fios por infravermelhos de elevado débito binário.

Após uma descrição geral dos sistemas de comunicações ópticas sem fios para espaços interiores, são identificados os factores que mais limitam o seu desempenho. É apresentada uma modelação detalhada dos diferentes elementos do canal, que influenciam a propagação dos sinais ópticos: o diagrama de radiação da fonte, o diagrama de recepção do detector, a propagação em espaço livre e a reflexão nas diferentes superfícies. Descrevem-se três modelos de reflexão: o modelo de Lambert, o modelo de Phong e o modelo de Torrance-Sparrow. Estes modelos são utilizados para aproximar os diagramas de reflexão experimentais de várias superfícies. Mostra-se que o modelo de Lambert não é apropriado para aproximar a reflexão em muitas superfícies existentes em espaços interiores, sendo o modelo de Phong bastante mais indicado para o efeito. São também apresentados três modelos de propagação dos sinais ópticos: o modelo em linha-de-vista, o modelo da reflexão única e o modelo das reflexões múltiplas. Estes modelos permitem descrever a propagação dos sinais nas três configurações emissor-receptor mais utilizadas: linha-de-vista, quasi-difusa e difusa.

Os modelos descritos são utilizados na implementação de um simulador da propagação de sinais ópticos em espaços interiores, que se designa por SCOPE. O algoritmo implementado e as técnicas/aproximações utilizadas são detalhadas. O simulador permite obter as principais características do canal óptico (perdas de propagação, resposta impulsional, função de

transferência, etc...), considerando múltiplas reflexões do sinal emitido. O simulador apresenta tempos de computação reduzidos, comparativamente a outros simuladores do canal óptico. Utilizando o simulador faz-se a caracterização da propagação de sinais ópticos em diferentes cenários, através da resposta impulsional do canal. É também avaliada a influência das 5 primeiras reflexões do sinal emitido nas características de propagação do canal.

O canal óptico apresenta, em geral, perdas de propagação elevadas e que variam bastante com múltiplos factores, nomeadamente, com os diagramas de emissão e de recepção, com a configuração emissor-receptor e com o posicionamento relativo do emissor, do receptor e das superfícies reflectoras na célula de comunicação. Utilizando o simulador é apresentado um estudo sobre as perdas de propagação nas três configurações emissor-receptor. São apresentadas expressões analíticas simples que evidenciam a dependência das perdas com os principais parâmetros do canal e demonstram o crescimento rápido das perdas com a separação entre emissor e receptor. Para cada configuração emissor-receptor, é efectuada a optimização do diagrama de radiação da fonte, por forma a minimizar o valor máximo das perdas de propagação. Esta optimização permite reduzir, consideravelmente, as perdas e a gama óptica do sinal recebido na célula de comunicação.

O grupo de trabalho do IEEE 802.11 desenvolveu uma especificação para redes de comunicações de área local sem fios, que inclui uma camada física por infravermelhos. Algum do trabalho descrito nesta tese contribuiu para essa especificação. É feita uma descrição geral da camada física por infravermelhos da norma IEEE 802.11 e a especificação do diagrama de radiação é apresentada em detalhe. A área de comunicação dos sistemas que estejam em conformidade com a actual especificação da norma é avaliada num conjunto bastante dissimilar de espaços interiores. Mostra-se que o diagrama de radiação especificado verifica as actuais normas de segurança para radiação laser e pode considerar-se seguro para os utilizadores.

A propagação multipercurso dá origem a dispersão temporal no sinal recebido, que pode provocar interferência-entre-símbolos. É apresentado um estudo comparativo das respostas impulsionalis do canal óptico para as três configurações emissor-receptor consideradas. Mostra-se que a dispersão temporal do sinal recebido varia, de forma significativa, com o posicionamento relativo de emissor, receptor e superfícies reflectoras e, em geral, reduz a largura de banda mínima do canal para valores inferiores à dezena de MHz. Mostra-se também que a optimização do diagrama de radiação da fonte para minimizar as perdas, provoca uma redução geral na largura de banda do canal.

A interferência-entre-símbolos, resultante da propagação multipercurso do canal óptico, pode ser bastante limitativa para taxas de transmissão superiores à dezena de Mbps. As principais técnicas de combate à dispersão

multipercursos são revistas. Utilizando o simulador SCOPE é investigado o uso de diversidade angular em sistemas de comunicação por infravermelhos para espaços interiores. Mostra-se que a utilização de receptores sectorizados com múltiplos segmentos de sectores, associada a um método de combinação do tipo selecção do melhor sector, permite reduzir a dispersão do sinal recebido. É proposta a utilização de diversidade angular no emissor e no receptor como forma, bastante eficaz, de combater a dispersão multipercursos do canal óptico.

Abstract

This thesis studies the propagation of optical signals in indoor environments, aiming the development of high speed and high performance wireless infrared communication systems. Special attention is given to aspects of modelling, simulation and optimisation of the optical channel.

An overview of wireless indoor optical communication systems is presented. The characteristics of the indoor optical channel are discussed, identifying the main issues that impair the performance of infrared communication systems. The main elements of the optical channel are modelled, namely, the source emitting pattern, the detector receiving pattern, the propagation of the optical signal in free-space and its reflection on indoor surfaces. This reflection is approximated through three models: the Lambert's model, the Phong's model and the Torrance-Sparrow's model. These models are used to approximate the measured reflection patterns of several surfaces. The results show that all the measured patterns are well approximated by the Phong's model and that the Lambert's model is not able to approximate correctly most of the measured reflection patterns. Three models for the propagation of optical signals in indoor channels are detailed: the line-of-sight model, the single reflection model and the multiple reflections model. Those models are used to approximate the signal propagation in the three most common system configurations: line-of-sight, quasi-diffuse and diffuse.

The models described are used to implement a simulation package, named SCOPE, that allows to simulate the propagation of optical signals in indoor channels. The simulation algorithm and the approaches/techniques used are detailed. The simulator allows to evaluate the main characteristics of the indoor optical channel, considering multiple reflections of the emitted signal. The SCOPE has reduced computation time, relatively to other existing simulators of the indoor optical channel. The effects of the first 5 signal reflections on the propagation characteristics of the indoor optical channel are evaluated.

The worst-case propagation losses of the indoor optical channel are, in general, high and change significantly with several factors, namely, the emitting and receiving patterns, the system configuration and the relative positioning of emitter, receiver and reflection surfaces in the communication cell. Using the simulator, the

propagation losses in indoor spaces are studied for the three system configurations (line-of-sight, quasi-diffuse and diffuse). The dependence of the propagation losses with the main channel parameters is analytically represented through approximated equations. For each system configuration, the emitter radiation pattern is optimised to minimise the worst-case propagation losses, reducing also significantly the optical range of the received signal over the communication cell.

The IEEE 802.11 working group developed a specification for wireless local area networks, which includes an infrared physical layer. Some of the work presented in this Thesis has contributed for that specification. The IEEE 802.11 infrared physical layer is described and the specification of the emitter radiation pattern is detailed. The communication range of the systems conforming with the IEEE 802.11 standard is evaluated for a set of dissimilar indoor spaces. In all those spaces, the channel propagation characteristics degrade smoothly with the distance. It is shown that the specified emitter radiation pattern is in conformance with the most recent safety standards for laser radiation and it is safe for the user.

The multipath propagation results in time dispersion of the received signal, which may originate inter-symbol interference. The channel impulse responses for the three system configurations are compared. The multipath propagation depends on the system configuration, emitting and receiving patterns and on the relative positioning of emitter, receiver and reflection surfaces. In general, the resulting dispersion reduces the minimum channel bandwidth to values lower than about ten MHz. It is shown that the optimisation of the emitter radiation pattern to minimise the propagation losses results also in a reduction of the channel bandwidth.

The inter-symbol interference introduced by multipath propagation of the optical signal imposes a growing penalty for transmission rates above about ten Mbps. The main techniques used to combat the effects of multipath dispersion in communication systems are reviewed. By using the simulator, the use of angle diversity to combat the multipath dispersion in indoor infrared systems is investigated. The results show that the use of sectorized receivers with multiple segments of sectors, associated with a best-sector selection, reduces the time dispersion of the received signal. The use of angular diversity in both emitter and receiver is proposed to combat effectively the multipath dispersion of the indoor optical channel.

Título: Caracterização do Tecido Cardíaco através de Imagens Obtidas por Ecocardiografia

Title: Myocardium Contractility Characterization from Echocardiograms using Optical Flow

Autor/Author: Manuel Calheiros Lobo

Orientador/Advisor: A. Sousa Pereira

Data Apresentação/Acceptance Date: 11/98