

Testi del Syllabus

Resp. Did.	SERENA Paolo	Matricola: 006228
Anno offerta:	2016/2017	
Insegnamento:	1005256 - OPTICAL COMMUNICATIONS	
Corso di studio:	5052 - COMMUNICATION ENGINEERING - INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI	
Anno regolamento:	2015	
CFU:	9	
Settore:	ING-INF/03	
Tipo Attività:	B - Caratterizzante	
Anno corso:	2	
Periodo:	Secondo Semestre	
Sede:	PARMA	



Testi in italiano

Lingua insegnamento

Inglese

Contenuti

Introduzione, motivazioni e stato dell'arte.
Richiami sulla propagazione in fibra ottica singolo modo.
Dispersione di velocità di gruppo.
Trasmettitori ottici.
Amplificatori ottici.
Principi di fotorivelazione.
Calcolo delle prestazioni di sistemi ottici.
Dispersione modale di polarizzazione.
Ricezione coerente.
Effetti non lineari in fibre ottiche:
- Self phase modulation
- Cross phase modulation
- Four wave mixing
- Cross polarization modulation
- Modulation instability.
Propagazione in regime solitonico.
Simulazione numerica di sistemi di comunicazione ottica.
Modello Gaussiano dell'interferenza non lineare.
Effetto Raman.
Digital back propagation.

Testi di riferimento

Il corso è corredato da diapositive disponibili sulla piattaforma Elly.

Si consiglia la lettura dei testi:

G. P. Agrawal, "Fiber-optic communication Systems", 3rd ed., Wiley, 2002;

G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press

Articoli scientifici propedeutici sono indicati all'indirizzo:

<http://www.tlc.unipr.it/serena/CO/lezioni.html>

Obiettivi formativi	<p>Il corso si propone di fornire i principali strumenti per l'analisi, la comprensione e la progettazione dei moderni sistemi di comunicazione in fibra ottica. In particolare ci si propone di far comprendere allo studente i seguenti argomenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - gli effetti lineari in una fibra ottica. - gli effetti non lineari in una fibra ottica. - studio della trasmissione/amplificazione/ricezione di un segnale ottico. - i principi della simulazione numerica di un collegamento in fibra ottica. <p>Le capacità di applicare le conoscenze e comprensione elencate risultano essere in particolare utili per:</p> <ul style="list-style-type: none"> - analizzare le distorsioni di un collegamento ottico. - analizzare le principali cause di rumore ai fini del calcolo della probabilità di errore di un ricevitore digitale di segnali ottici. - individuare le principali strategie di risoluzioni dei problemi sopra elencati. - modellizzare il canale ottico in diverse casistiche. - implementare algoritmi numerici per l'analisi di sistemi non lineari.
Prerequisiti	<p>si suggeriscono conoscenze di base di trasmissione numerica, elaborazione numerica dei segnali, campi elettro-magnetici</p>
Metodi didattici	<p>le lezioni verranno svolte prevalentemente alla lavagna ma anche con l'utilizzo di video-proiettore.</p> <p>Durante il corso saranno svolti degli esercizi propedeutici.</p> <p>E' prevista qualche lezione in laboratorio informatico.</p>
Altre informazioni	<p>nel corso verrà utilizzato un simulatore numerico di collegamenti ottici</p>
Modalità di verifica dell'apprendimento	<p>la prova d'esame consiste in una prova orale e in una tesina individuale (max 4 pagine) su un progetto da effettuare tramite simulazione numerica di un sistema ottico. La tesina è valutata in base alla correttezza, completezza, chiarezza di esposizione, riferimenti bibliografici.</p> <p>Durante il corso è prevista una prova intermedia per gli studenti interessati.</p>
Programma esteso	<p>Introduzione. Breve storia delle comunicazioni ottiche. Ottica a raggi. Legge di Snell. Riflessione totale. Richiami sulle fibre singolo modo.</p> <p>Modulatori ottici. Griglia ITU-T. Richiamo sulle comunicazioni digitali e sui laser. Modulatori di fase ottici. Return to zero. Modulazione di fase con modulatori Mach Zehnder. Modulatori ottici in-fase/quadratura.</p> <p>Dispersione di velocità di gruppo (GVD). Dimostrazione rigorosa della GVD tramite le equazioni di Maxwell. Attenuazione. Ritardo di gruppo. Impulsi Gaussiani. Dispersione anomala e normale. Impatto di un chirp sulla GVD. Frequenza istantanea di GVD. Dispersione di terzo ordine. Eye closure penalty (ECP) indotta dalla GVD. Memoria della GVD.</p> <p>Amplificatore ottico. Cross sections di assorbimento ed emissione. Equazione di propagazione e di bilancio. Reservoir. Rumore di emissione spontanea (ASE). Cifra di rumore di un amplificatore ottico. Formula di Friis. Rapporto segnale rumore ottico. Esercizi.</p> <p>Fotoricevitori: fotodiodo. Efficienza quantica. Responsivity. Giunzione P-i-n. Fotodiodo a valanga (APD). Statistiche di Poisson. Shot noise. Ricevitori ottici.</p> <p>Calcolo della probabilità di errore (BER) in un sistema ottico on-off keying (OOK). Quantum limit. Potenza di sensitività. Impatto del rumore termico sulla BER. Approssimazione gaussiana della BER. Approssimazione gaussiana con fotodiodi APD. Power budget. Legame Sensitivity penalty e Eye closure penalty (ECP). Caso con GVD.</p> <p>Rumore di battimento segnale-spontaneo, spontaneo-spontaneo. Formula di Personick e di Marcuse. Esercizi.</p>

Misura della cifra di rumore di amplificatori ottici.

Polarizzazione della luce. Birifrangenza. Formalismo di Stokes. Sfera di Poincaré. Breve richiamo delle matrici unitarie e Hermitiane. Dispersione modale di polarizzazione (PMD). Ritardo di gruppo differenziale. Stati principali di polarizzazione.

Ricezione coerente. Accoppiatore ottico. Ricezione coerente differenziale: DPSK. Modulo ibrido ottico. Ricevitore bilanciato. Trasmissione a modulazione di polarizzazione. Digital signal processing al ricevitore. Recupero elettronico della GVD e della PMD. Recupero di fase e frequenza.

Equazione non lineare di Schroedinger (NLSE). Ragioni della non linearità cubica. Self Phase Modulation (SPM). Confronto tra la visione tempo/frequenza del SPM/GVD. Wave breaking (WB).

Catene di amplificatori: limitazioni imposte dalla non linearità e dal rumore ASE. Catene disomogenee. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange.

Solitoni. Dimostrazione del solitone fondamentale. Solitoni di ordine superiore e Dark solitons (cenni). Esempi numerici di propagazione solitonica. Problemi dei Solitoni. Effetto del rumore ASE sui solitoni: sliding filters.

Sistemi wavelength division multiplexing (WDM). NLSE a campi separati. Cross-phase modulation (XPM) e four wave mixing (FWM). Filtro di XPM. Coefficiente di walk-off.

Algoritmo di split-step Fourier method (SSFM). Soluzione formale con operatori. Non commutatività degli operatori. SSFM asimmetrico e simmetrico. Scelta del passo: passo costante, metodo della fase non lineare, metodo dell'errore locale stimato. Estrapolazione di Richardson. Linguaggio Matlab. Linguaggio di programmazione OptiluX. Software Optilux: esempi.

Analisi perturbativa della NLSE. Campo di FWM con segnali CW. Efficienza di FWM. Coefficiente di phase matching. Gaussian noise (GN) model. Applicazioni del GN-model.

Modulation instability. Optical parametric amplifier (OPA). Banda e frequenza di massimo guadagno di un OPA. Rumore negli OPA. Cenni sugli OPA a due pompe.

Amplificazione Raman. Memoria introdotta dall'effetto Raman. SPM, XPM e FWM in presenza di Raman. XPM risonante Raman. Amplificazione Raman nel caso pompa-segnale.

Cross polarization modulation (XpolM). Confronto XPM vs. XPolM. Algoritmo di digital backpropagation (DBP). Effetto del rumore sulle prestazioni del DBP.



Testi in inglese

Lingua insegnamento

English

Contenuti

Introduction, motivations, state of the art.
Brief introduction of single mode fibers.
Group velocity dispersion.
Optical Transmitters.
Optical Amplifiers.
Principles of Photo-detection.
Performance Evaluation of optical communication systems.
Birefringence and polarization mode dispersion.

Nonlinear effects in optical fibers:

- Self phase modulation.
- Cross phase modulation.
- Four wave mixing.
- Cross polarization Modulation.
- Modulation Instability

Optical Solitons.

Numerical simulation of optical communication systems.

Gaussian noise model.

Raman Effect.

Digital Back propagation..

Testi di riferimento

Slides of the course are available at Elly web site.

Supporting books are the following:

G. P. Agrawal, "Fiber-optic communication Systems", 3rd ed., Wiley, 2002;

G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press

Supporting scientific papers are indicated at:

<http://www.tlc.unipr.it/serena/CO/lezioni.html>

Obiettivi formativi

The course aims to provide the main tools to analyze and design modern optical communication systems. Strictly speaking, the course would like to give knowledge and understanding about:

- linear effects in an optical fiber.
- nonlinear effects in an optical fiber.
- investigation of the transmission/amplification/detection of an optical signal.
- the basic principles of a numerical simulation of an optical link.

With such a knowledge the student should be able to:

- analyze the main distortions of an optical link.
- analyze the main sources of noise that impact the bit error rate of a digital transmission by means of fiber optics.
- find strategies to cope with the above problems
- describe the optical channel by theoretical models in different cases.
- implement numerical algorithms for the analysis of nonlinear systems.

Prerequisiti

suggested basic knowledge of Digital Communications, Signal Processing and electro-magnetic waves.

Metodi didattici

Lessons given mainly by blackboard but also by video.

Some exercises will be solved during the lectures.

Some lessons will be given in the computer lab.

Altre informazioni

During the course a numerical simulator of optical links will be introduced

Modalità di verifica dell'apprendimento

The exam consists in an oral examination and in an individual project (max 4 pages) regarding the study of an optical link by simulation. The project is evaluated in terms of correctness, completeness, clarity of exposition, bibliography.

A mid term exam will be given during the course.

Programma esteso

Introduction, Brief history of optical communications.

Ray optics. Snell's law. Total reflection. Single-mode fibers (overview).

Optical modulators. ITU-T grid. Review of digital communications and lasers. Return to zero formats. Phase modulation by Mach Zehnder modulators. In-phase/quadrature optical modulators.

Group velocity dispersion (GVD). Rigorous proof of GVD using Maxwell's

equations. Attenuation. Group delay. Gaussian pulses. Dispersion length. Anomalous and normal dispersion. GVD in presence of signal's chirp. Instantaneous frequency. GVD in presence of signal chirp. Third order dispersion. Eye closure penalty in presence of GVD. Memory of GVD.

Erbium doped fiber amplifier (EDFA). Cross sections. Propagation equation and Rate equations. Reservoir. Amplified spontaneous emission (ASE) noise. Noise figure of an EDFA. Friis's formula. Optical signal to noise ratio (OSNR). Exercises.

Photo-detectors: photo-diode. Quantum efficiency. Responsivity. P-i-n photodiode. Avalanche photo-diode (APD). Poisson statistics. Shot noise. Optical Receivers.

Bit error rate (BER) for on-off keying (OOK) transmission. Quantum limit. Sensitivity power. Thermal noise. Gaussian approximation and Personick's formula. Gaussian approximation with APD. Power budget. Relation between Sensitivity penalty and Eye closure penalty for PIN and APD. Case with GVD. Signal to spontaneous and spontaneous to spontaneous noise beat. BER with ASE noise: Gaussian approximation. Comparison of noise variances. Marcuse's formula. Exercises.

Noise figure of optical amplifiers measured in the electrical domain.

Polarization of light. Birefringence. Stokes formalism. Poincaré sphere. Review of unitary and Hermitian matrices. Polarization mode dispersion (PMD). Differential group delay. Principal states of polarization.

Coherent detection. Optical coupler. Differentially coherent detection: DPSK. Optical hybrid. Balanced detector. Polarization division multiplexing. Digital signal processing at the receiver. Electronic compensation of GVD and PMD. Carrier phase and frequency recovery.

Nonlinear Schroedinger equation (NLSE). Reasons for the cubic nonlinear effect. Self Phase Modulation (SPM). Comparison between temporal/frequency vision of SPM/GVD. Wave breaking (WB).

Amplifier chains: limitations of ASE noise and nonlinear Kerr effect. Inhomogeneous amplifier chains. Lagrange multipliers method.

Solitons. Proof of fundamental soliton. Notes on Higher order solitons and Dark solitons. Numerical examples of soliton propagation. Solitons problems. Solitons and ASE: sliding filters.

Wavelength division multiplexing (WDM) systems. NLSE with separate fields. Cross-phase modulation (XPM) and four wave mixing (FWM). XPM filter. Walk-off coefficient.

Split-step Fourier method (SSFM). Formal solution using operators. Non commutative operators. SSFM with symmetrized and asymmetric step: accuracy. Choice of the step: constant step, step based on the nonlinear phase criterion, step based on the local error. Richardson extrapolation. Local error method: choice of the step size. The Matlab programming language. Software Optilux. Examples.

Regular perturbation (RP) analysis of NLSE. FWM with CW signals. FWM efficiency. Phase matching coefficient. Gaussian Noise (GN) model. Applications of GN model.

Modulation instability (MI). Optical parametric amplifier (OPA). Bandwidth and frequency of maximum gain of an OPA. Notes on Two pumps OPA.

Raman amplification. Memory induced by Raman effect. SPM, XPM and FWM in presence of Raman. Raman impact on XPM. Pump-signal case.

Cross polarization modulation (XpolM). Comparison XPM vs. XPolM. Digital back-propagation (DBP) algorithm. Impact of optical noise on DBP performance.

