

Testi del Syllabus

Resp. Did. **SERENA Paolo** Matricola: **006228**

Anno offerta: **2015/2016**
Insegnamento: **1005256 - OPTICAL COMMUNICATIONS**
Corso di studio: **5052 - COMMUNICATION ENGINEERING - INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI**
Anno regolamento: **2014**
CFU: **9**
Settore: **ING-INF/03**
Tipo Attività: **B - Caratterizzante**
Anno corso: **2**
Periodo: **Secondo Semestre**
Sede: **PARMA**

Testi in italiano

Tipo testo

Testo

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.
Equazione di propagazione non lineare di Schroedinger.
Propagazione in regime non lineare.
Self phase modulation.
Cross phase modulation.
Four wave mixing.
Propagazione in regime solitonico.
Effetto Raman.
Parametric gain ed instabilità di modulazione.
Dispersione modale di polarizzazione e suoi formalismi.
Formati di modulazione avanzati e ricezione ottica coerente.

Testi di riferimento

Il corso è corredato da diapositive.

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

Ulteriori articoli scientifici verranno segnalati durante il corso.

Obiettivi formativi

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:

Tipo testo

Testo

- 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.

Le capacità di applicare le conoscenze e comprensione elencate risultano essere in particolare utili per:

- analizzare le distorsioni di un collegamento ottico.
- analizzare le principali cause di rumore ai fini del calcolo della probabilità di errore di un sistema digitale ottico.
- 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

si suggeriscono conoscenze di base di trasmissione numerica, elaborazione numerica dei segnali

Metodi didattici

le lezioni verranno svolte prevalentemente alla lavagna ma anche con l'utilizzo di video-proiettore.
E' prevista qualche lezione in laboratorio informatico.

Altre informazioni

nel corso verrà utilizzato un simulatore numerico di collegamenti ottici

Modalità di verifica dell'apprendimento

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.
Durante il corso è prevista una prova intermedia per gli studenti interessati.

Programma esteso

Introduzione. Breve storia delle comunicazioni ottiche. Ottica a raggi. Legge di Snell. Riflessione totale. Richiami sulle fibre singolo modo.

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.

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.

Fotoricevitori: fotodiodo. Efficienza quantica. Responsivity. Giunzione P-i-n. Fotodiodo a valanga (APD). Statistiche di Poisson. Shot noise. Ricevitori ottici.

Calcolo della probabilità di errore (BER) in un sistema ottico on-off keying (OOK). Quantum limit. Potenza di sensibilità. 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.

Rumore di battimento segnale-spontaneo, spontaneo-spontaneo. Formula di Personick e di Marcuse. Esercizi.

Catene di amplificatori: misura della cifra di rumore. OSNR budget. Amplificazione distribuita.

Equazione non lineare di Schroedinger (NLSE). Ragioni della non linearità

Tipo testo

Testo

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 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.

Polarizzazione della luce. Grado di polarizzazione (DOP). Equazione di moto della polarizzazione lungo la distanza. Polarization mode dispersion (PMD): PMD al primo ordine.

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

Formati di modulazione avanzati: motivazioni. Modulatore di fase e Mach Zehnder (MZ). Impulsi return to zero (RZ) e varianti. Duobinario. Differential phase shift keying (DPSK).

Ricezione coerente. Optical hybrid. Polarization division multiplexing (PDM). Digital signal processing (DSP). Compensazione elettronica della GVD. Compensazione elettronica della PMD: constant modulus algorithm (CMA). Stima di fase: algoritmo di Viterbi & Viterbi. Cross polarization modulation (XpolM). Nonlinear threshold (NLT) di link ottici. Algoritmo di digital backpropagation (DBP). Polarization switched quadrature phase shift keying (PS-QPSK).



Testi in inglese

Tipo testo

Testo

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 Photodetection.
Performance Evaluation.

Tipo testo

Testo

Nonlinear Schroedinger Equation.
Self phase modulation.
Cross phase modulation.
Four wave mixing.
Optical Solitons.
Raman Effect.
Parametric gain and modulation instability.
Polarization Mode Dispersion.
Advanced modulation formats and optical coherent detection.

Testi di riferimento

Slides of the course are available.

Reading of the following books is suggested:

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

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

Further scientific papers will be indicated during the course.

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 trasmission/amplification/detection of an optical signal.
- the basic principles of a numerical simulation of an optical link.

Applying the knowledge and the understanding mentioned above, 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 an optical digital transmission.
- 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 and Signal Processing.

Metodi didattici

Lessons given mainly by blackboard but also by video. There will be some lessons 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.

An intermediate test 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).

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.

Tipo testo

Testo

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.

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. Optical signal to noise ratio (OSNR). Marcuse's formula. Exercises.

Noise figure of optical amplifiers measured in the electrical domain. OSNR budget. Distributed amplification.

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. Block diagram of the local error method. 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.

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. Raman amplification: pump-signal case.

Polarization of light. Birefringence. Degree of polarization (DOP). Input/output relation with birefringence. Polarization mode dispersion (PMD): first order model.

Advanced modulation formats. Phase modulator and Mach Zehnder (MZ) modulator. Return to zero (RZ) pulses and its variants. Duobinary transmission. Differential phase shift keying (DPSK). Coherent detection. Optical hybrid. Polarization division multiplexing (PDM). Digital signal processing (DSP). Electronic dispersion compensation of GVD. Electronic dispersion compensation of PMD: constant modulus algorithm (CMA). Phase estimation: Viterbi & Viterbi

Tipo testo

Testo

algorithm. Cross polarization modulation (XpolM). Nonlinear threshold (NLT) of optical links. Digital back-propagation (DBP) algorithm. Polarization switched quadrature phase shift keying (PS-QPSK).
