

Abstract

The cost-efficient generation of signals using orthogonal frequency division multiplex is investigated in this thesis. Important effects of interference are characterized and algorithms for compensation are presented. Selected experimental investigations support the analytical research.

The state of the art is presented for optical access networks in general and for passive optical networks using orthogonal frequency division multiplex. Due to the cost-sensitive nature of access networks, mainly systems using intensity modulation and direct detection at transmitter and receiver respectively have been investigated. The investigated real-time system has utilized two digital to analogue converters in order to generate the in-phase and quadrature component of the signal based on orthogonal frequency division multiplex. Compared to systems employing a single digital to analogue converter, a dual-converter system allows a reduced sample rate together with a cost-reduction. On the other hand, this system architecture requires an analogue I/Q modulator, which causes additional distortions with respect to unbalanced amplitude and phase between in-phase and quadrature components. This distortion has been investigated in great detail for the modulation formats quadrature phase-shift keying, $\pi/4$ -shift differential quadrature phase-shift keying and orthogonal frequency division multiplexing. Iterative algorithms have been derived for the named modulation formats, which are suitable for implementation on a field-programmable gate array. A real-time transmitter has been developed for the application in access networks and other applications. It employs an architecture consisting of media access and physical layer and generates orthogonal frequency division multiplex signals with a gross data rate of up to 64 Gb/s. The experimental work in this thesis is focussed on the direction of data transmission from the central office to the end user. The parameters describing the I/Q imbalance have been estimated and used for correction. A method for synchronisation in upstream direction of a passive optical network using orthogonal frequency division multiplex has been investigated in case of changing channel properties.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird für den Bereich der optischen Zugangsnetze die kosteneffiziente Erzeugung von Signalen mit orthogonalem Frequenzmultiplex untersucht. Wichtige Störeffekte werden charakterisiert und Algorithmen zu deren Kompensation dargestellt. Ausgewählte Experimente unterstützen die analytischen Untersuchungen.

Zur Einordnung der Arbeit werden die grundlegenden optischen Zugangsnetztypen im Allgemeinen und der Stand der Technik für die passiv-optischen Zugangsnetze mit orthogonalem Frequenzmultiplex dargestellt. Da speziell der Zugangsbereich sehr kostensensitiv ist, wurde in der Arbeit für die elektro-optische Wandlung auf der Sendeseite Intensitätsmodulation und für opto-elektrische Wandlung auf der Empfangsseite Direktempfang vorausgesetzt. Weiterhin wurden im untersuchten FPGA¹-basierten Echtzeit-System zwei Digital-zu-Analog-Umsetzer zur elektrischen Erzeugung von In-Phase- und Quadratursignal eingesetzt. Im Gegensatz zu Systemen mit nur einem Wandler kann bei Verwendung von zwei Wandlern die Abtastrate reduziert werden, was eine Kostenersparnis verspricht.

Allerdings verursacht dieser Systemansatz, durch den notwendigen Einsatz von analogen Quadraturmodulatoren, zusätzliche Störungen durch nicht-angepasste Phasen- und Amplitudenlage zwischen In-Phase- und Quadratursignal. Diese Störung wurde für die Modulationsformate Quadraturphasenumtastung, differentielle Quadraturphasenumtastung mit $\pi/4$ -Phasensprung und orthogonalem Frequenzmultiplex detailliert untersucht. Für die genannten Modulationsformate wurden für die Implementierung auf einem FPGA geeignete, iterative Algorithmen zur Kompensation der I/Q-Imbalance abgeleitet,

Für passiv-optische Zugangsnetze und andere Anwendungen wurde im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte ein Echtzeit-fähiger Sender für das orthogonale Frequenzmultiplex entwickelt und untersucht. Dieser Sender unterstützt die Protokollschichten Medienzugriff und Bitübertragung, nimmt Ethernet-Datenframes entgegen und erzeugt die beiden Zeitsignale für das orthogonale Frequenzmultiplex mit Bruttodatenraten von bis zu 64 Gb/s.

In der Arbeit wurde speziell die Datenübertragung von der Ortsvermittlungsstelle in Richtung des Endbenutzers untersucht. Die Parameter der I/Q-Imbalance wurden geschätzt und korrigiert. Ein Synchronisationsverfahren für den Upstream im passiv-optischen Zugangnetz basierend auf orthogonalem Frequenzmultiplex wurde untersucht und dessen Wirksamkeit bei sich ändernden Kanaleigenschaften gezeigt.

¹Field-programmable Gate Array