

**UNIVERSITÀ DI PISA**

**Scuola di Dottorato in Ingegneria “Leonardo da Vinci”**



**Corso di Dottorato di Ricerca in  
Ingegneria dell'Informazione**

**Tesi di Dottorato di Ricerca**

# **Synchronization Issues for Continuous Phase Modulations**

*Autore:*

*Marilena Maiolo* \_\_\_\_\_

*Relatore:*

*Prof. Marco Luise* \_\_\_\_\_

*Anno 2008*



*“Everything should be made as simple as possible, but no simpler”*

A. Einstein



## **Abstract**

Continuous-phase modulations (CPMs) have been studied for many years [1]. Mainly because of the attractive property of constant envelope, that make this family the most suitable modulations in the satellite field, they found their first relevant practical application in mobile communications, where they represent the standard signal format for GSM. In spite of the huge literature that is available on the subject, more elaborate CPM schemes have found no application until now because of the implementation complexity of the detector, and of synchronization problems [2]. In the last few years several methods have been proposed to solve synchronization issues related to Continuous Phase Modulations (CPMs). Unfortunately most of these techniques are *ad-hoc* algorithms, developed to meet synchronization problems for a particular subclass of signals [1] – [10].

In this thesis, we tackle the issue of both cyclostationary-based and soft-based synchronization for continuous phase modulations (CPMs), by extending to such signals (including the multi-*h* variant) the corresponding methods that were already proposed for linearly-modulated data signals.

As first, we will examine the timing synchronization algorithm. The problem of blind timing recovery with linear modulations has several efficient solutions, irrespective of the complexity of the signal constellation. The workhorse in this respect is Gardner's timing error detector, that is a closed loop estimator. Another approach is represented by the well-known Oerder-Meyr's (O&M) estimator [11], that is on the contrary an open loop method. Gini and Giannakis (G&G) [12] showed that the O&M estimator is a particular sample of a larger class of estimators that exploit the *cyclostationarity* of a data signal. We will show in the following that the G&G approach can be extended to CPM signals, and we will perform an approximate analytical performance evaluation.

The second part of this work is about another general synchronization method that can be applied to CPM signals, that exploit the trellis structure inherent in the modulator. In particular we will focus on phase estimation, being the phase the parameter that shows the lower implementation complexity. Our approach is the so-called *code-aided* synchronization, that take benefits from the *a priori* information available from the code structure applied to a linear modulation scheme. We try to extend this approach to CPMs, since this signals share with a coded system the trellis structure, due to the inherent memory

of the CPM modulator. The algorithm starts with a first step, called Expectation-Maximisation [14]. It is an iterative method which enables to solve ML optimisation problem.

In the special case of the sole phase, being CPM a phase modulation, the computational complexity decreases and it is possible to find a closed form for the estimator, that is data aided and makes use of the state transition probabilities given by a symbol-based BCJR [15], developed in an *ad-hoc* way for an uncoded CPM signal.

## Sommario

La famiglia di Modulazioni a Fase Continua (CPM) è stata studiata a lungo in passato [1]. Soprattutto grazie alle proprietà che riguardano l'involuppo, che rendono questo tipo di modulazioni le più adatte nel settore satellitare, hanno trovato la loro prima applicazione pratica nelle comunicazioni mobili, in cui rappresentano lo standard per il formato del segnale GSM. Nonostante l'enorme letteratura disponibile sul tema, schemi di modulazioni CPM più elaborati non hanno trovato fino ad oggi alcun tipo di applicazione a causa della complessità del ricevitore, e per i problemi in materia di sincronizzazione [2].

Negli ultimi anni numerosi sono stati i metodi proposti per risolvere le questioni relative alla sincronizzazione di segnali CPM. Purtroppo la maggior parte di queste tecniche sono algoritmi *ad-hoc*, sviluppati per risolvere i problemi di sincronizzazione per una particolare sottoclasse di segnali [1] - [10].

In questa tesi affrontiamo il problema generale della sincronizzazione per segnali CPM, sviluppando due metodi, quello basato sulla ciclostazionarietà del segnale e quello basato sul calcolo di grandezze soft, estendendo a questi segnali (compresa la variante multi-h), i corrispondenti metodi che sono stati già proposti per segnali modulati linearmente.

Per prima cosa affronteremo l'aspetto della sincronizzazione di timing. Il problema del recupero blind del timing per le modulazioni lineari ha numerose soluzioni, a prescindere dalla complessità della costellazione. Il cavallo di battaglia in questo campo è l'algoritmo di recupero del timing derivato da Gardner; si tratta di uno stimatore ad anello chiuso. Un altro approccio è costituito dal noto algoritmo di Oerder e Meyr (O & M) [11] che è, al contrario, un metodo ad anello chiuso. Gini e Giannakis (G & G) [12] hanno dimostrato che lo stimatore di O & M non è altro che un caso particolare di una classe più ampia di stimatori basati sulla ciclostazionarietà del segnale. Nel seguito mostreremo che l'approccio di G & G può essere esteso ai segnali CPM, e valuteremo le prestazioni analitiche e simulate dello stimatore in esame.

La seconda parte di questo lavoro è dedicata all'analisi di un altro metodo di sincronizzazione, che può essere applicato a segnali CPM; tale metodo sfrutta la struttura a traliccio inerente nel modulatore. In particolare ci concentreremo sulla stima della fase, che risulta essere il parametro che implica la minore complessità di realizzazione. Il nostro approccio è di tipo *code-aided*, metodo che sfrutta le informazioni *a priori* disponibili grazie alla struttura del codice applicato a un sistema di modulazione lineare. Cercheremo

di estendere questo approccio alle CPM, in quanto questi segnali hanno in comune con un sistema codificato proprio la struttura a traliccio, a causa della memoria inerente nel modulatore. L'algoritmo parte dall'applicazione del metodo noto come Expectation-Maximization [14]. Si tratta di un metodo iterativo che consente di risolvere problemi di ottimizzazione ML.

Nel caso particolare della sola fase, essendo le CPM proprio delle modulazioni di fase, la complessità computazionale diminuisce ed è possibile trovare uno stimatore in forma chiusa, che utilizza le probabilità di transizione dello stato calcolate mediante un BCJR symbol-based [15], sviluppato in modo *ad-hoc* per segnali CPM non codificati.

## ***List of Publications***

### ***International Conferences***

1. M. Maiolo, M. Luise, "Blind Symbol Timing Recovery for Multi Level/Multi-h CPM Signals with High Spectral Efficiency" GTTI, Riunione Annuale 2007, Roma, Giugno 2007.
2. M. Maiolo, M. Luise, "Blind Symbol Timing Recovery for Multi Level/Multi-h CPM Signals with High Spectral Efficiency", Proceedings of the 9th International Workshop on Signal Processing for Space Communications (SPSC), Noordwijk, The Netherlands, 11-13 September, 2006.
3. M. Maiolo, M. Luise, C. Herzet, "Cyclostationary-Based Blind Symbol Timing Recovery for Continuous Phase Modulations" Proceedings of the 15th "IST Mobile & Wireless Communications Summit", Mykonos, Greece, 4-8 June, 2006.

### ***International Journals***

4. M. Maiolo, M. Luise, "Cyclostationary-Based Blind Symbol Timing Recovery for Continuous Phase Modulations", Submitted to the IEEE Transaction on Signal Processing, 2008.

