



Doctoral Thesis

Digital estimation of continuous-time signals using factor graphs

Author(s):

Bolliger, Lukas

Publication Date:

2012

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007342807> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 20123

Digital Estimation of Continuous-Time Signals Using Factor Graphs

A dissertation submitted to
ETH Zurich
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Lukas Bolliger

Master of Science ETH in Electrical Engineering and
Information Technology, ETH Zurich, Switzerland
born on May 03, 1981
citizen of Luzern LU and Uerkheim AG

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H.-A. Loeliger, examiner
Prof. Dr. A. Singer, co-examiner
Dr. Ch. Vogel, co-examiner

2012

Abstract

A digital signal may represent noisy, quantized, discrete-time observations of a continuous-time signal. If the continuous-time signal is bandlimited to half the sampling rate, and the samples are taken without noise and with infinite precision, the continuous-time signal can be fully reconstructed from its digital samples.

In this thesis we introduce a model of a continuous-time signal that is not bandlimited in the traditional sense, but its spectrum is shaped by the transfer function of a known, finite-order linear system / filter. Among other applications the continuous-time system / filter may represent the analog parts of a receiver, or it may represent a sensor that delivers a filtered version of the actual force applied.

We use Forney factor graphs to represent the continuous-time signal and its noisy, quantized, discrete-time observations. The factor graph approach, which is well developed for discrete-time systems, is extended in this thesis for continuous-time systems. We use message passing algorithms in the factor graph to estimate both, the input and output signal of the continuous-time system / filter at arbitrary time instances. The estimation of the output signal is essentially a Kalman smoother. The estimate of the input signal (which appears to be new) can be viewed as a generalized bandlimited reconstruction of a continuous-time signal.

Two applications are described in this thesis. We show how our model can be extended to increase the quality of a digital signal that was sampled with clock jitter. We also introduce a general view on the widely used sigma-delta converter: an A/D converter may consist of any unstable linear system with feedback. The feedback ensures that the internal

variables of the system stay in a predefined range. We use our proposed model to represent the components of such an “Unstable Linear Filter ADC” and we can then estimate its input signal given quantized, discrete-time observations of some internal variables of the system.

Kurzfassung

Ein digitales Signal kann betrachtet werden als eine Liste von zeitdiskreten, verrauschten und quantisierten Beobachtungen eines zeitkontinuierlichen Signals. Falls das zeitkontinuierliche Signal bandbegrenzt ist, und die Beobachtungen mit einer höheren Rate als die doppelte Bandbreite abgetastet werden, kann das zeitkontinuierliche Signal wieder fehlerfrei rekonstruiert werden.

In dieser Arbeit beschreiben wir ein Modell eines zeitkontinuierlichen Signals welches nicht bandbegrenzt ist, sondern ein Spektrum hat welches geformt ist durch die Übertragungsfunktion eines bekannten, linearen und zeitinvarianten Systems / Filters endlicher Ordnung. Unter anderem könnte das System / Filter den analogen Teil eines Empfängers oder einen Sensor welcher eine gefilterte Version der zu messenden Größe liefert modellieren.

Mit Hilfe von Forney Faktorgraphen modellieren wir das zeitkontinuierliche System / Filter und dessen Ausgangssignal, sowie die zeitdiskreten Beobachtungen. Das Modellieren von zeitdiskreten Systemen mit Hilfe von Faktorgraphen ist weit verbreitet, wir zeigen wie dieser Ansatz auf zeitkontinuierliche Systeme / Filter erweitert werden kann. Mit Message-Passing Algorithmen im Faktorgraphen berechnen wir eine Schätzung des Eingang- und Ausgangssignals des zeitkontinuierlichen Systems / Filters zu beliebigen Zeitpunkten. Die Schätzung des Ausgangssignals ist im wesentlichen ein Kalman Smoother, wobei die Schätzung des Eingangssignals neu zu sein scheint.

Zum Modell und den Algorithmen beschreiben wir zwei Anwendungen. Wir zeigen, wie das Modell erweitert werden kann für zeitdiskre-

te Signale welche zusätzlich durch Clock-Jitter verfälscht wurden. Des Weiteren beschreiben wir eine allgemeine Sicht auf den weit verbreiteten Sigma-Delta Wandler: Ein Analog-Digital Wandler kann ein beliebiges instabiles, lineares System enthalten, welches mit Hilfe von Rückkopplungen in einem definierten Bereich gehalten wird. Wir zeigen wie unser Modell und die aufgezeigten Algorithmen in einem solchen “Unstable Linear Filter ADC” genutzt werden können um das Eingangssignal eines solchen Wandlers anhand von zeitdiskreten Beobachtungen zu schätzen.