



## Hvordan virker ...

- CD og lydkoding (mp3 ~1:12)
- Lyd-filtrering og -effekter
- Shazam (gjenkjenning av låter, Iphone)
- Kompresjon av talesignal i GSM:
  - ~100 kbit/s → <10 kbit/s
- GPS
  
- Kap 7 for applikasjoner av signalbehandling

24. august 2009

3

UNIVERSITETET  
I OSLO

## INF3470 - Digital signalbehandling

- Et teoretisk og praktisk fag!
  - 3t forelesning (tirsdag 12.15-15)
  - 2t regneverksted (fredag 12.15-14 )
  - 2t obligatorisk gruppe (tirsdag 10.15-12)
- 1. Forelesning
  - ukas pensum går gjennom og man forventes å forsøke seg på oppgavene
- 2. Regneverksted
  - studentene får hjelp/tips til å løse de oppgavene de ikke har fått til
- 3. Øvelse
  - studentene leverer løsninger av oppgavene som blir gjennomgått og rettet.
- Krav til å få gå opp til eksamen er at studentene har fått godkjent 40% av alle oppgavene som er gitt i kurset (dvs innlevert på øvelsestimen i tillegg til å være korrekt nok).

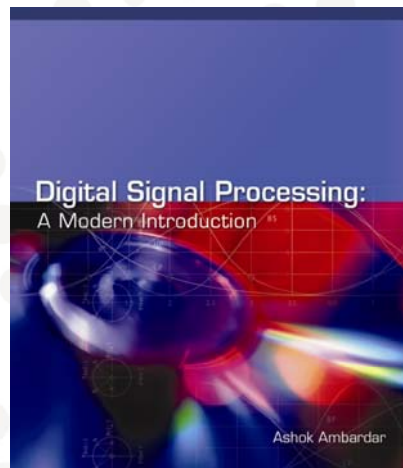
24. august 2009

4

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Praktisk info

- Se webside for kurset:
- <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF3470/>
- Følger boka
- Bruker en god del andre oppgaver



24. august 2009

5



## Oversikt over pensum

- I kapittel 2 lærer dere om signaler, som er den mest grunnleggende størrelsen i faget
- I kapittel 3 lærer dere om systemer eller filtre som først og fremst brukes til å manipulere signaler.
- I kapittel 4 lærer dere om z-transformasjonen, som brukes til å analysere og designe filtre.
- I kapittel 5 lærer dere om Fourier-transformasjonen, som brukes til å analysere både signaler og systemer med hensyn til frekvensinnhold.
- I kapittel 6 lærer dere om hvordan man tolker systemer ved hjelp av Fourier-transformasjoner.
- I kapittel 7 lærer dere om effekten av å behandle analoge signaler med digitale teknikker, og hvilke kriterier som må oppfylles.
- I kapittel 8 lærer dere om en spesiell Fourier-transformasjon (DFT) som kan brukes på de signaler som er periodiske eller har endelig lengde.
- I kapittel 9 og 10 lærer dere hvordan dere skal designe filtrefra de to hovedtypene dere lærer om i dette kurset: IIR og FIR.

24. august 2009

6



## Contents

- Chapter 1 Overview
- Chapter 2 Discrete Signals
- Chapter 3 Time-Domain Analysis
- Chapter 4 z-Transform Analysis
- Chapter 5 Frequency Domain Analysis
- Chapter 6 Filter Concepts
- Chapter 7 Digital Processing of Analog Signals
- Chapter 8 The Discrete Fourier Transform and Its Applications (kursorisk 8.11-8.12)
- Chapter 9 Design of IIR Filters (kursorisk 9.3-9.5 og 9.7)
- Chapter 10 Design of FIR Filters (kursorisk 10.9-10.10)
- Appendix A Useful Concepts from Analog Theory

24. august 2009

7

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Pensum

- Etter å ha fullført kurset vil dere ha kjennskap til de fleste begreper innen digital signalbehandling.
- Dere vil i tillegg ha fått god trening i å utføre de mest sentrale operasjonene.
- Forelesere:
  - Kapittel 2-3, 6-7, 9: Sverre Holm
  - Kapittel 4-5, 8,10,: Andreas Austeng
- Ukeoppgavene er valgt for å gi
  - økt forståelse av pensum
  - direkte trening til eksamen.
- Erfaringsmessig må dere gjøre flere oppgaver enn de vi gir for å få tilstrekkelig trening med teknikkene.

24. august 2009

8

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Andre kurs relatert til signalbehandling

### Våre kurs:

- INF-GEO4310 - Avbildning (høst)
- INF3460 - Prosjekt i digital signalbehandling og akustikk (vår)
- INF4480 - Digital signalbehandling II (vår)
- INF5410 - Signalbehandling i rom og tid (vår)

### Andre kurs:

- FYS3240 - PC-basert instrumentering og mikrokontrollere (vår)
- GEO4280 - Seismisk signalbehandling (vår)
- MUS4800 - Lydteori 1 (høst)
- UNIK4170 - Digital kommunikasjon, del 1 (høst)

24. august 2009

9

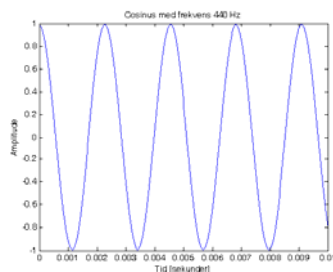


## Signaler: Sinus i tid og frekvens

- Cosinus med frekvens  $f$ , vinkelfrekvens  $\omega$ :

$$\cos(2\pi f \cdot t) = \cos(\omega \cdot t)$$

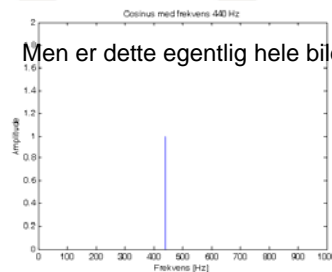
- Renstrøken a:  $f=440$  Hz 🗣️
- Tidsdomenet:



24. august 2009

### Frekvensdomenet:

Men er dette egentlig hele bildet?



10



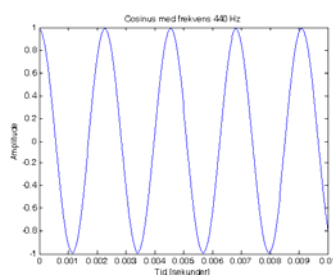
## Sinus i tids- og frekvensdomenet

- Kompleks notasjon

$$\cos(2\pi f \cdot t) = \cos(\omega \cdot t) = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t})$$

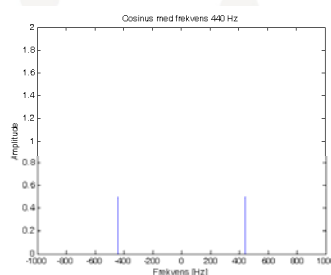
- Også negative frekvenser

- Tidsdomenet:



24. august 2009

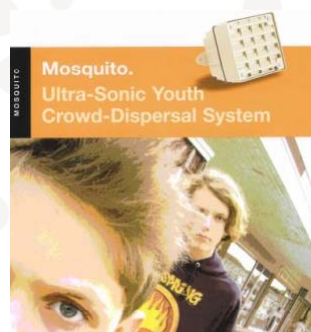
- Frekvensdomenet:



11

## Kan du høre tonen?

- Mosquito
  - A pulsed, near ultrasonic tone at around **16kHz**
  - The sound, though not painful in any way, becomes highly annoying after 5 min or so
  - Most under 20s leave the immediate area
  - The majority of those over the age of 30 either just hear, or are totally unaware of any noise.
  - Natural age-related hearing loss
  - <http://www.mosquito-ni.com/>
- Kan du høre den?
  - [Toner \(Adobe Audition\)](#) eller [Audacity \(freeware\)](#)
  - Toner i området 12-20 kHz



12

## Frekvensinnhold i tale og musikk

- Utgangspunkt: 800 Hz
  - Adobe Audition, filtre



GSM: ~300-3400 Hz



AM: ~50-4000 Hz

- Bedre og bedre gjengivelse:

- $\pm 1$  oktaver: 400-1600
- $\pm 2$  oktaver: 200-3200
- $\pm 3$  oktaver: 100-6400
- $\pm 4$  oktaver: 50-12800
- $\pm 5$  oktaver: 25-25600



Kodet lyd: 20-12...20 kHz



CD: 20--~20000 Hz



Traktgrammofon:  
~300-3000 Hz

24. august 2009

[http://www.recordedsound.no/documents/sandnes\\_no.htm](http://www.recordedsound.no/documents/sandnes_no.htm)

13

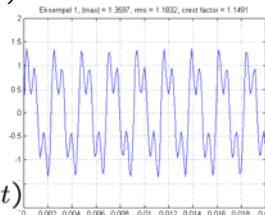


UNIVERSITETET  
I OSLO

## Fase ved 440 Hz

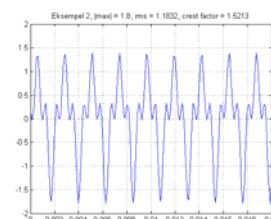
$$\sin(2\pi f_0 t) + 0.2 \sin(2\pi 2 f_0 t) + 0.6 \sin(2\pi 3 f_0 t)$$

- Rms = 1.1832
- Max = 1.3597
- Crest factor = max/rms=1.1491



$$\sin(2\pi f_0 t) + 0.2 \cos(2\pi 2 f_0 t) - 0.6 \sin(2\pi 3 f_0 t)$$

- Rms = 1.1832
- Max = 1.8
- Crest factor = 1.5213
- 2.4 dB høyere maks-verdi
- Fase er viktig, men ikke for hørsel
- Crest factor: Viktig for RF sendere, maks nivå CD



UNIVERSITETET  
I OSLO

## desibel - dB

Definisjon:

$$dB = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$$

- der  $P_1$  og  $P_2$  er effekter

Da  $P = U^2/R$ ,

- der  $U$  er spenning og  $R$  er motstand
- La  $R_1 = R_2$ :

$$dB = 10 \log_{10} (P_1/P_2) = 20 \log_{10} (U_1/U_2)$$

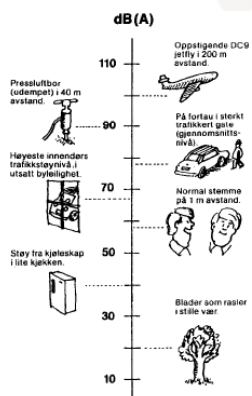
dB	Spenning	Effekt
0	1	1
1	1.12	1.26
3	1.41	2
6	2	4
10	3.16	10
20	10	100
-3	0.71	0.5
-6	0.5	0.25
-10	0.32	0.1
10m	$10^{m/2}$	$10^m$
6m	$2^m$	$4^m$

24. august 2009

15



## dB er ikke bare lydnivåer!

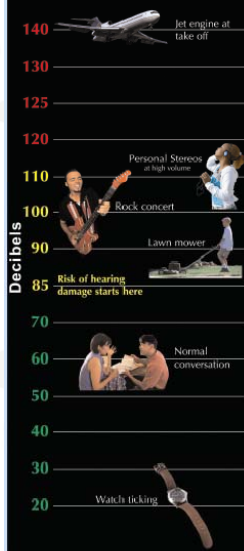


dB relativt til  $20 \mu Pa$

16

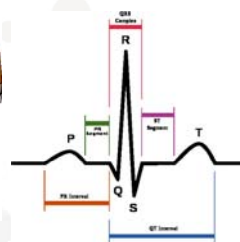
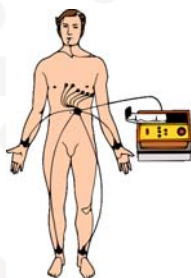
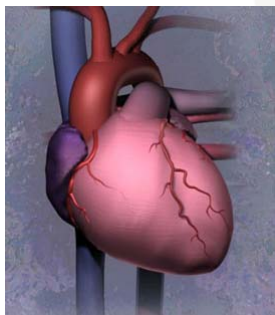


### Hearing Risk by Activity





## Elektrokardiogram (EKG)



- <http://www.atenmedicalart.com/anim/heart.htm>

• Wikipedia

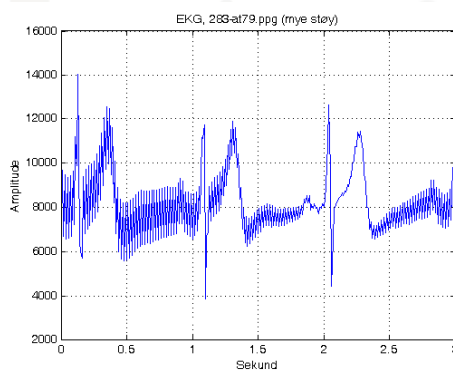
24. august 2009

17



## Støyfiltrering på EKG-signal

- Matlab: [Aase.m](#) - Filtrere bort 50 Hz fra EKG-signal



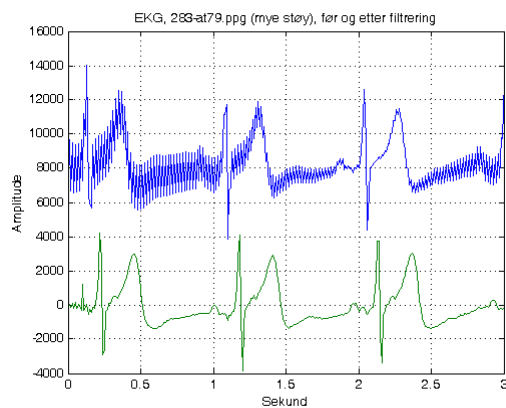
- Data fra Ottar Aase, Kardiologi, Ullevål Universitetssykehus

24. august 2009

18



## EKG: Før og etter filtrering

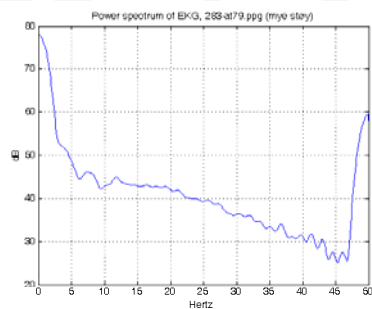
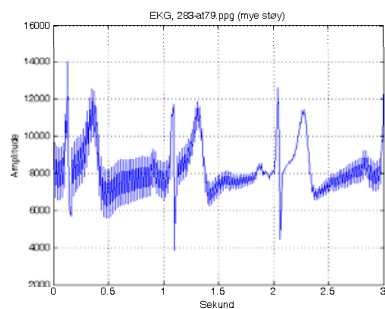


24. august 2009

19



## Tids- og frekvensanalyse

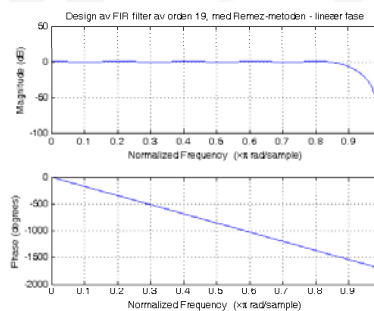
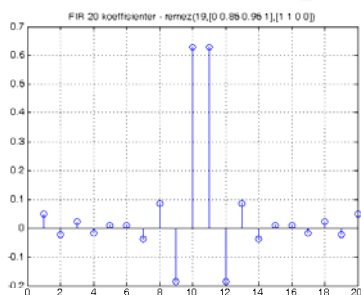


24. august 2009

20



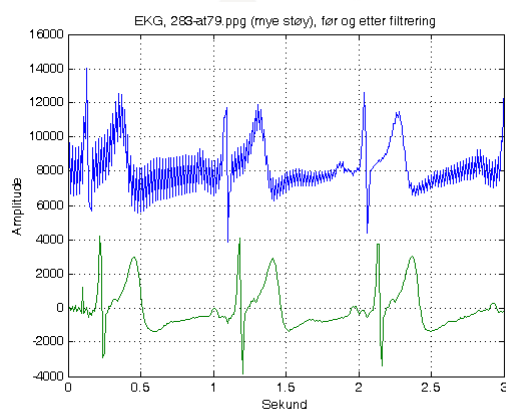
## EKG: Filter for støyfiltrering



24. august 2009

21

## EKG: Før og etter filtrering



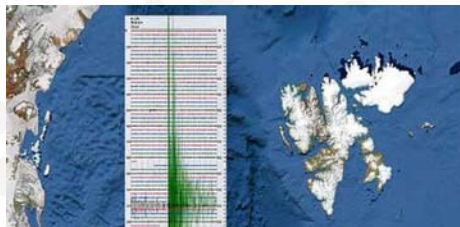
24. august 2009

22

## Seismologi: Jordskjelv rystet Svalbard

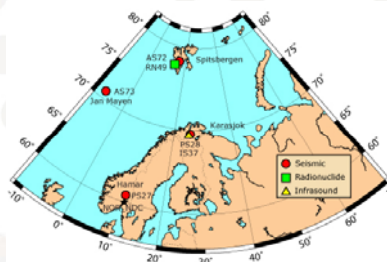
- "Et jordskjelv med en styrke på 6,5 inntraff utenfor Svalbard fredag formiddag. Dette er det sterkeste som noen gang er målt i vår del av verden."

- Aftenposten 06.03.2009
- <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/article2964253.ece>



- Norge har 6 stasjoner (av 50) i the International Monitoring System (IMS)

- <http://www.norsar.no/c-71-Station-Network.aspx>



24. august 2009

23



## Teknisk aksjeanalyse



- Stock chart showing levels of support (4, 5, 6, 7, and 8) and resistance (1, 2, and 3); levels of resistance tend to become levels of support and vice versa.

- Wikipedia

24. august 2009

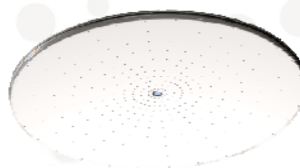
24



## Mikrofonarray for konferanserom og sport



- 300 mikrofoner
- Kamera
- Squarehead Technology, Nydalen
- [www.sqhead.com](http://www.sqhead.com)
- Store Auditorium



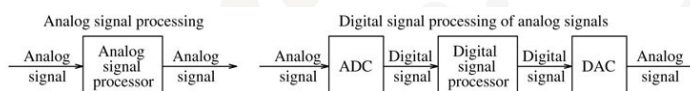
ifj

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Analoge og digitale signaler

- Analoge signaler:
  - EKG
  - Musikk og tale
  - Seismologiske data
- Samplingsteoremet:
  - Sample på minst to ganger høyeste frekvens
- Anti-aliasing filter:
  - Analogt filter som fjerner høyeste frekvenser slik at samplingsteoremet blir oppfylt

FIGURE 1.1 Analog and digital signal processing



24. august 2009

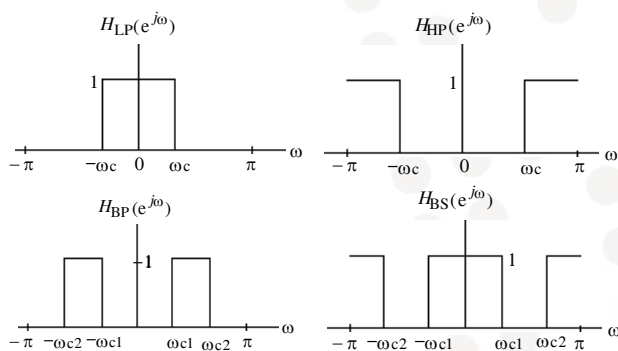
26

ifj

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Systemer: filtre

- Ideelle filtre:
  - Lavpass, høypass, båndpass, båndstopp



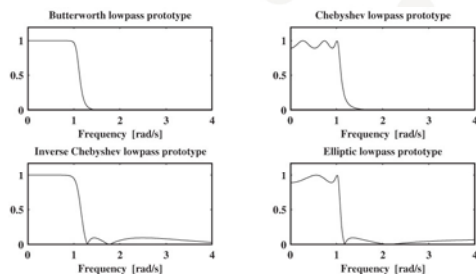
27

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Systemer: filtre

- Filterspesifikasjon
  - Passbånd, stoppbånd
  - Maksimalt flatt passbånd/stoppbånd
  - Ekviripple i passbånd/stoppbånd

FIGURE A.15  
Classical analog  
lowpass prototypes



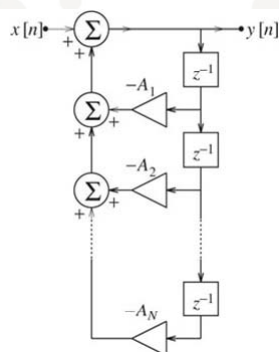
24. august 2009

28

UNIVERSITETET  
I OSLO

## Systemer: IIR Filtre

- IIR – Infinite Impulse Response
  - Transformerer klassiske analoge filtre
- Et IIR filter er rekursivt – har tilbakekopling
  - (Fra fig 3.2)



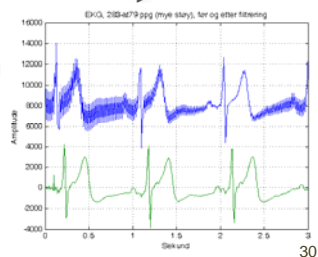
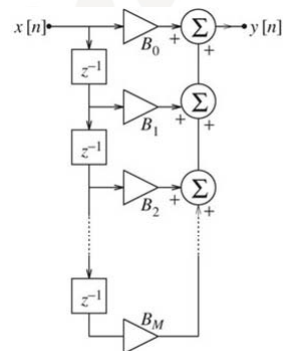
24. august 2009

29



## Systemer: FIR filtre

- FIR – Finite Impulse Response
  - Bare foroverkopling
  - Som regel mer beregninger enn IIR
- Kan lages med *lineær fase*
  - $\Leftrightarrow$  Gruppforsinkelsen er konstant med frekvens
  - Alle frekvenser forsinkes like mye
  - Viktig for analyse i tidsdomenet, eks EKG
  - Gjør også rekonstruksjonsfilterbanker enklere, eks mp3



24. august 2009

30



## Spektralanalyse

- Tid - frekvens beskrivelse
- Noter har vært brukt i omtrent denne form siden 1000-tallet
- **Frekvens** er helt sentral for vår oppfatning av lyd

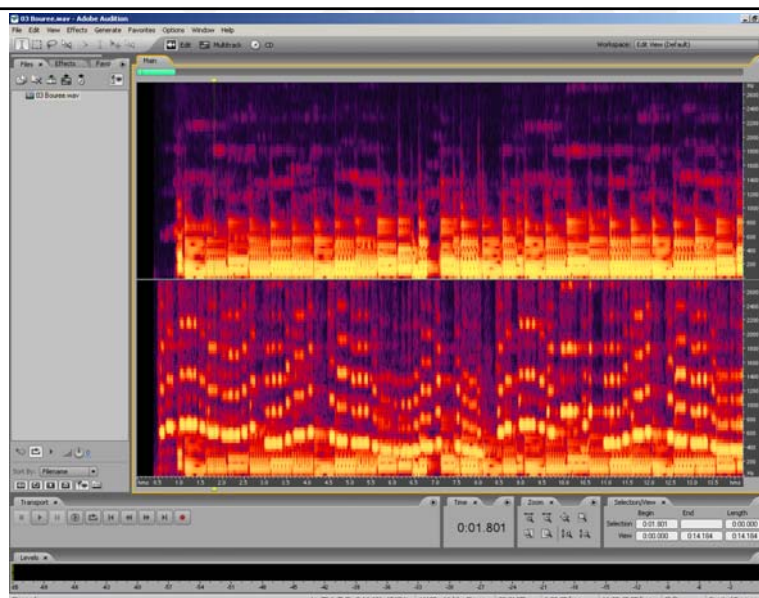
**Bouree**

J.S. Bach

© 1996 <http://sheetmusic.cesonet.com>

Bass

Fløyte



24. august 2009

32



## Historie

- Før 50-tallet: Bare tidskontinuerlig analog signalbehandling (elektroniske kretser)
- 1928: Nyquist; 1949: Shannon-samplingteoremet
- Digital signalbehandling på 50- og 60-tallet:
  - Behov for prosessering i seismikk
  - Simulere analoge systemer på datamaskin (fleksibilitet)
- Viktige faktorer som bidro til dagens digitale implementering av systemer:
  - Fast Fourier transform (FFT) 1965: Cooley & Tukey
  - Utvikling i mikroelektronikk

24. august 2009

33

UNIVERSITETET  
I OSLO

## An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series

By James W. Cooley and John W. Tukey

An efficient method for the calculation of the interactions of a  $2^m$  factorial experiment was introduced by Yates and is widely known by his name. The generalization to  $3^m$  was given by Box et al. [1]. Good [2] generalized these methods and gave elegant algorithms for which one class of applications is the calculation of Fourier series. In their full generality, Good's methods are applicable to certain problems in which one must multiply an  $N$ -vector by an  $N \times N$  matrix which can be factored into  $m$  sparse matrices, where  $m$  is proportional to  $\log N$ . This results in a procedure requiring a number of operations proportional to  $N \log N$  rather than  $N^2$ . These methods are applied here to the calculation of complex Fourier series. They are useful in situations where the number of data points is, or can be chosen to be, a highly composite number. The algorithm is here derived and presented in a rather different form. Attention is given to the choice of  $N$ . It is also shown how special advantage can be obtained in the use of a binary computer with  $N = 2^m$  and how the entire calculation can be performed within the array of  $N$  data storage locations used for the given Fourier coefficients.

Mathematics of computation, pp. 297-301, 1965, American Mathematical Society

24. august 2009

34

UNIVERSITETET  
I OSLO