

# Ruis- en feedbackonderdrukking in hoorapparaten en cochleaire implantaten

Koen Eneman<sup>1</sup>, Ann Spriet<sup>1,2</sup>, Simon Doclo<sup>2</sup>, Jan Wouters<sup>1</sup>, Marc Moonen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ExpORL, Dept. Neurowetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, België

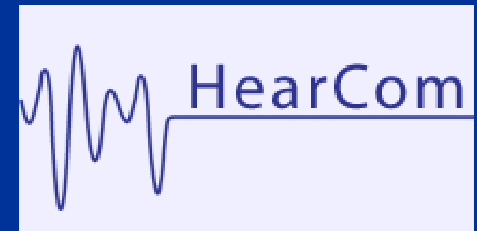
<sup>2</sup>ESAT-SCD, Dept. Elektrotechniek, Katholieke Universiteit Leuven, België



ExpORL  
K.U.Leuven  
België



ESAT/SISTA  
K.U.Leuven  
België

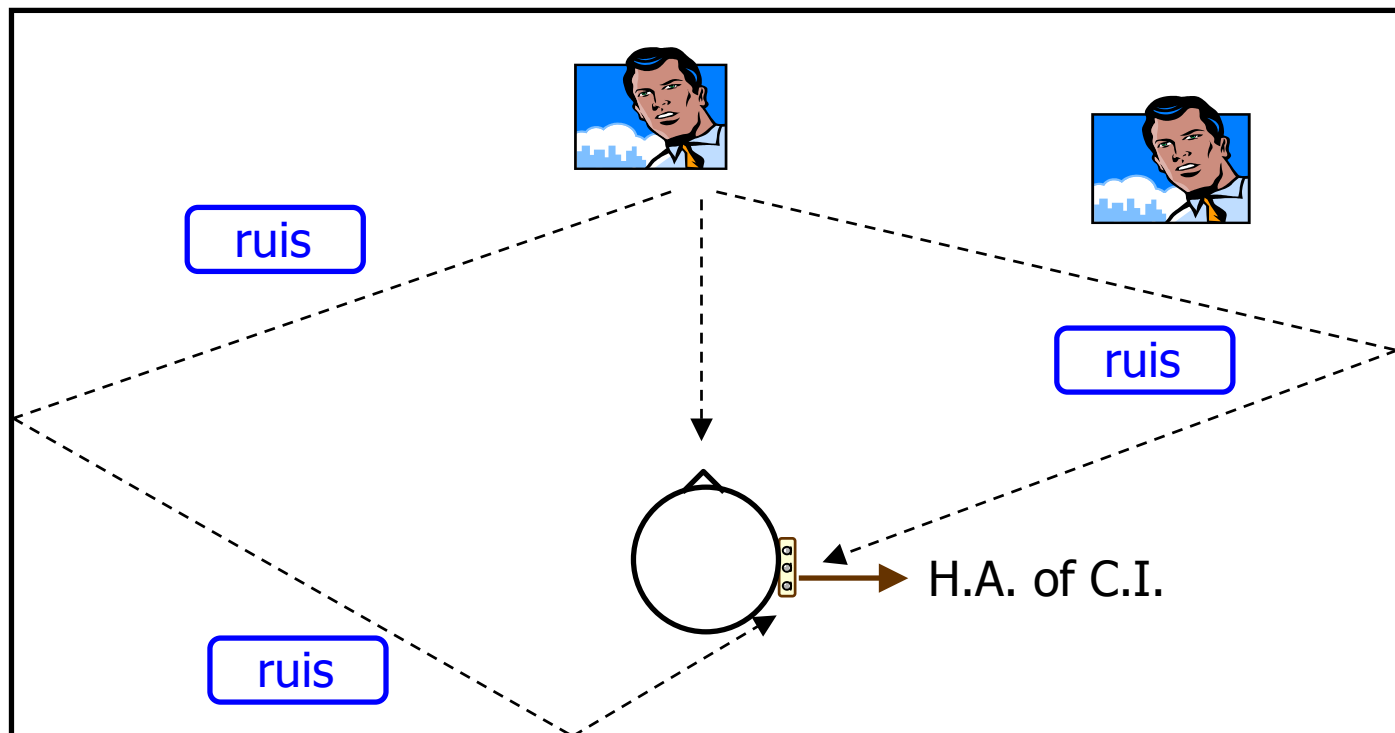


HearCom  
European research project

# Outline

- Probleemstelling
- Ruisonderdrukking
- Feedbackonderdrukking
- Evaluatie van signaalverwerkingsalgoritmen in het kader van het HearCom-project

# Ruisonderdrukking : probleemstelling



Signaalkwaliteit vermindert ten gevolge van

- achtergrondruis (diffuus, directioneel)
- andere spreker(s), cocktail-party-effect
- reverberatie

oplossing :

ruisonderdrukking

blind source separation

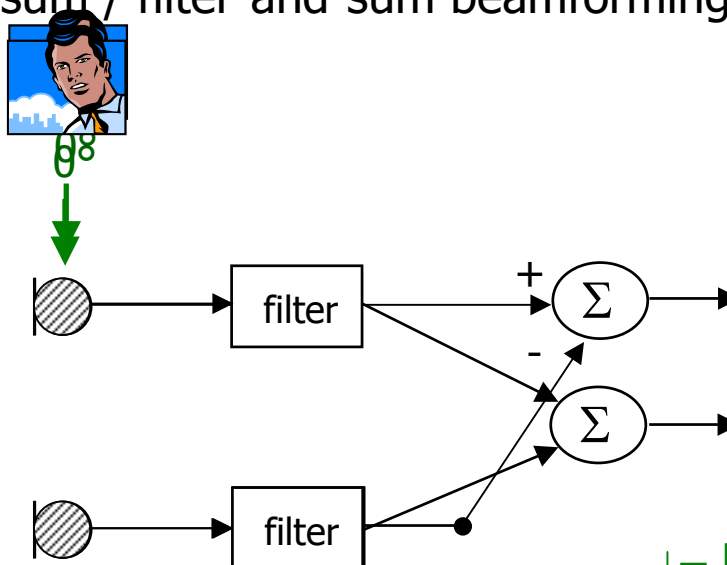
dereverberatie

# Ruisonderdrukkingstechnieken : klassieke aanpak

- Een-microfoon-ruisonderdrukkingstechnieken
  - typisch gebaseerd op
    - Wiener-filtering
    - spectrale subtractie
  - meest geschikt voor de onderdrukking van diffuse ruis
  - verbetering in spraakverstaanbaarheid is beperkt
- Meer-microfoon-ruisonderdrukkingstechnieken
  - benutten de spatiale diversiteit van de setup
  - ideaal geschikt voor de onderdrukking van puntbronnen
  - diffuse ruis wordt minder sterk onderdrukt
  - significante verbetering van de spraakverstaanbaarheid, afhankelijk van het ruisscenario
  - vereisen meer geavanceerde hardware (meerdere microfoons, meer rekenkracht)

# Meer-microfoon-ruisonderdrukking

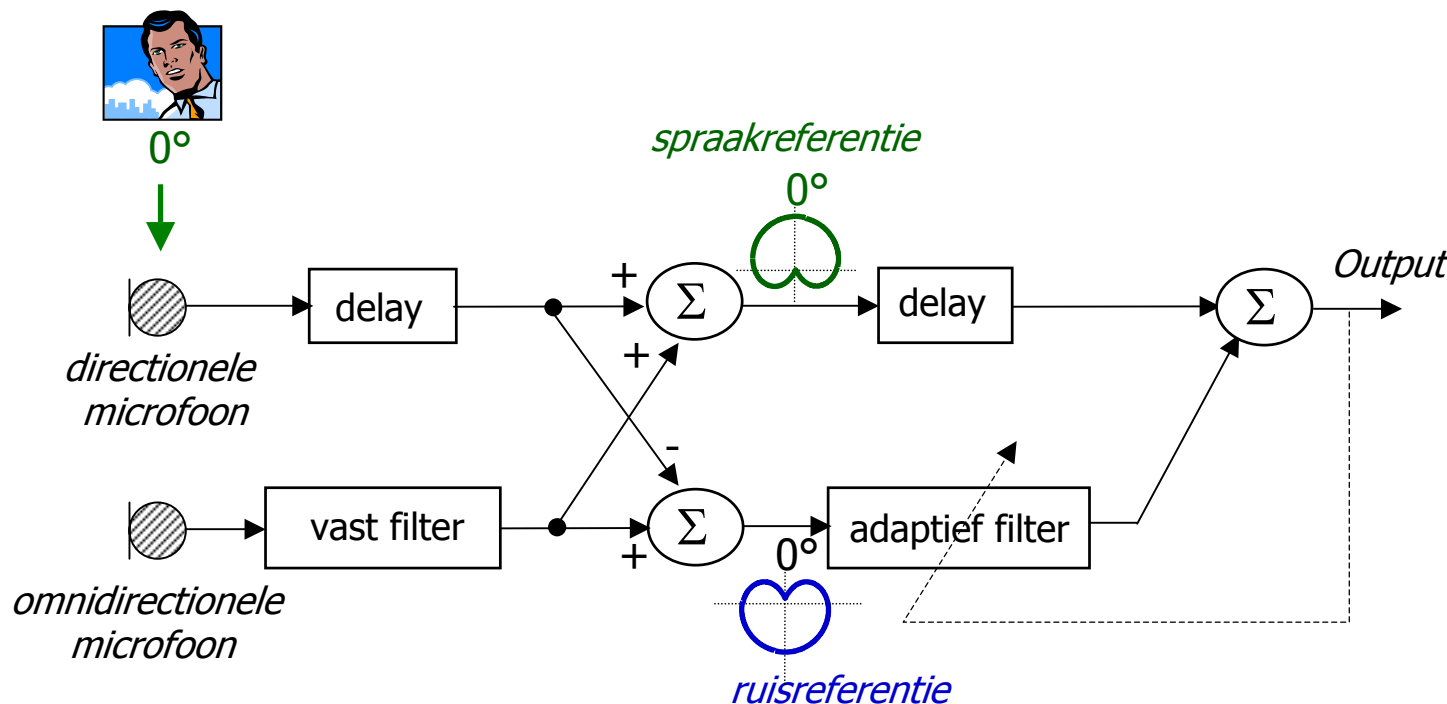
- Lineaire combinatie van de microfoonsignalen (=beamforming) leidt tot
  - richtingsgevoeligheid : enkel signalen die komen van recht voor worden versterkt
  - werkt goed bij puntbronnen, in ruimtes met weinig reverberatie
- Verschillende implementaties :
  - hardware/software directionele microfoons
  - delay-and-sum / filter-and-sum beamforming



- Data-onafhankelijke filtercoëfficiënten →
  - beperkte performantie
  - + robuust

# 2-traps adaptieve beamformer : A2B

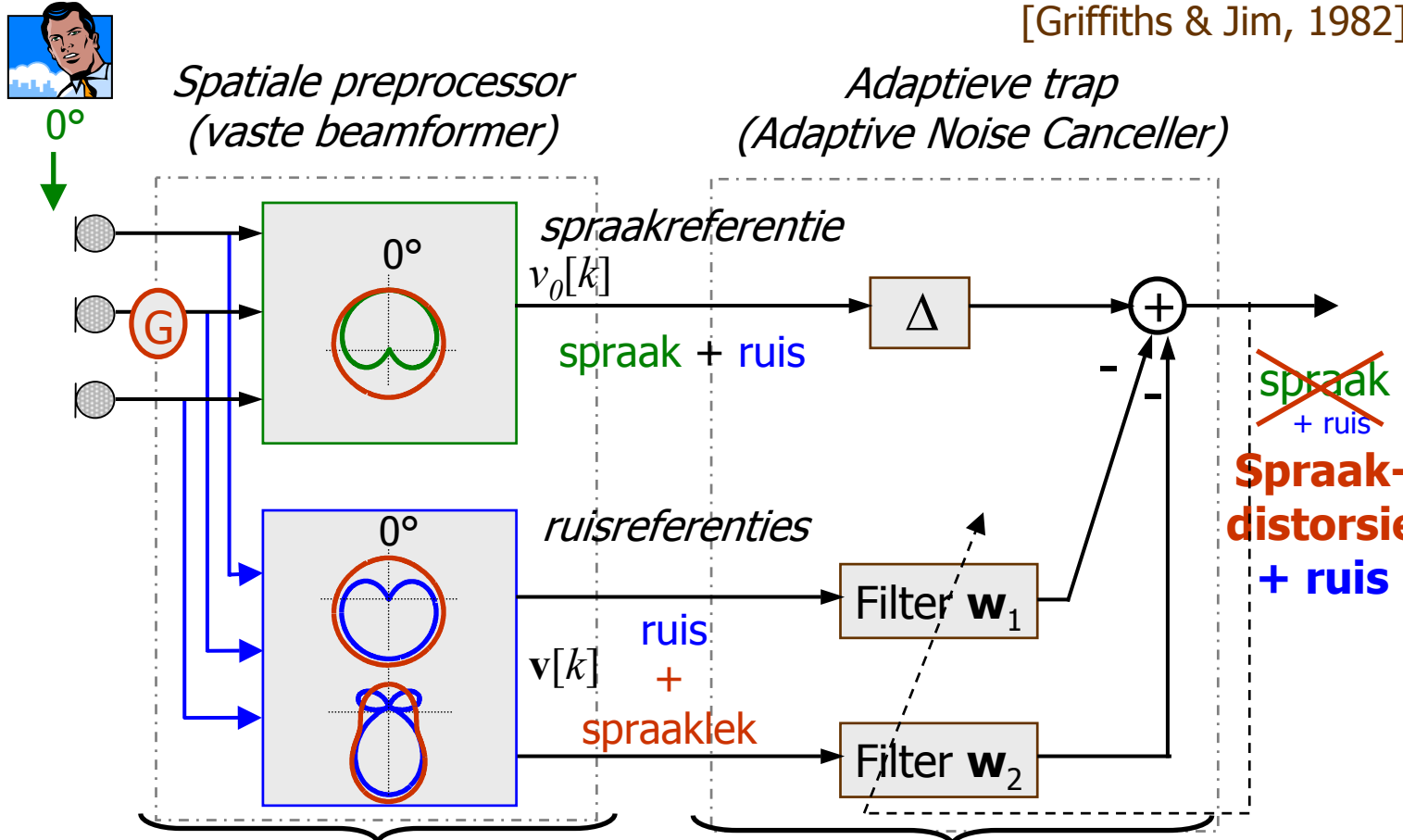
[Griffiths & Jim, 1982; Wouters & Vandenberghe, 2001]



- Variant van de Generalised Sidelobe Canceller (GSC)
  - een vaste, beamforming-gebaseerde eerste trap
  - een adaptieve tweede trap (adaptieve filtertechnieken)
  - de filtercoëfficiënten zijn data-afhankelijk → **betere performantie**
  - A2B = state-of-the-art ruisonderdrukking in H.A.'s and C.I.'s

# Generalised Sidelobe Canceller

[Griffiths & Jim, 1982]



vermijdt spraakdistortie minimaliseert vermogen aan uitgang

steunt op **veronderstellingen** : ~~gelden niet in de praktijk~~

$$\mathbf{w}[k] = \min_{\mathbf{w}} \mathcal{E} \left\{ \left( v_0[k - \Delta] - \mathbf{w}^T[k] \mathbf{v}[k] \right)^2 \right\}$$

gekende microfoonkarakteristieken, sprekerpositie, geen reverberatie

output-noise power

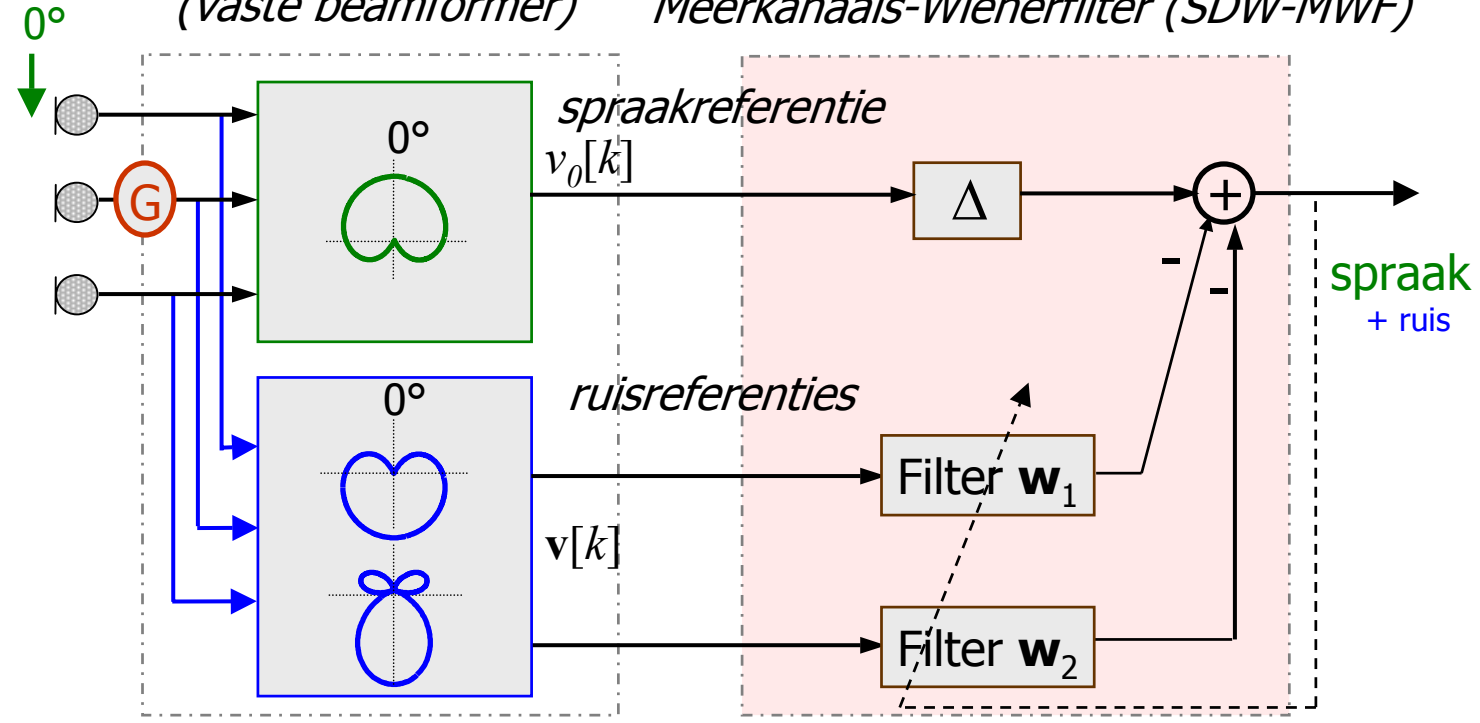
# Spatially-Preprocessed SDW-MWF

[Doclo, Spriet, Moonen, Wouters]



*Spatiale preprocessor  
(vaste beamformer)*

*Meerkanaals-Wienerfilter (SDW-MWF)*



$$\min_{\mathbf{w}[k]} E \left\{ \underbrace{\left( v_0[k - \Delta] - \mathbf{w}^T[k] \mathbf{v}[k] \right)^2}_{\text{ruisonderdrukking}} \right\} + \frac{1}{\mu} E \left\{ \underbrace{\left( \mathbf{w}^T[k] \mathbf{x}[k] \right)^2}_{\text{spraakdistorsie}} \right\}$$

ruisonderdrukking

spraakdistorsie

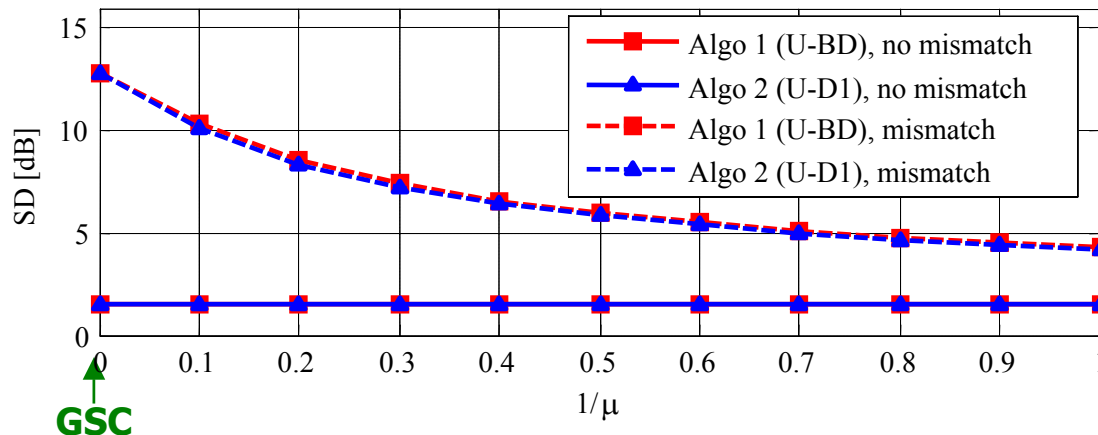
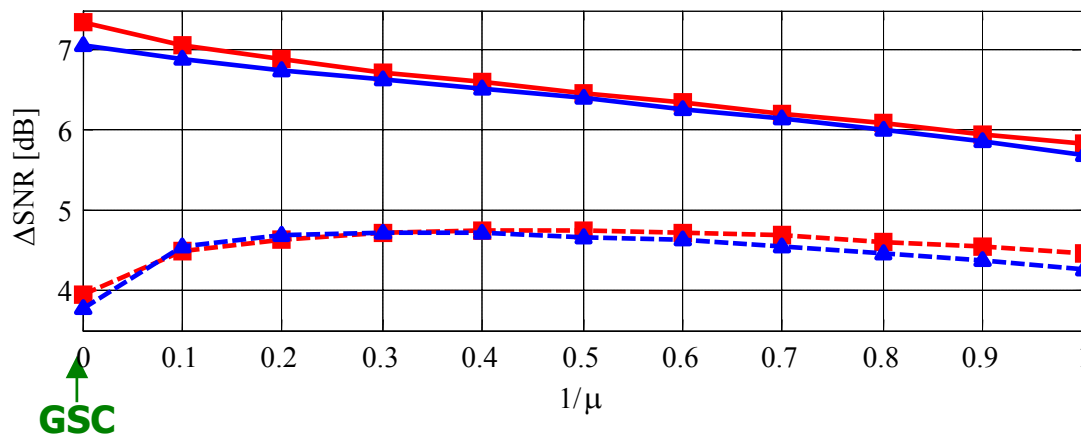
In vergelijking met GSC:   
 + minder spraakdistorsie   
 - boët iets in qua ruisonderdrukking   
 Indien  $1/\mu=0 \rightarrow$  GSC



# Experimentele validatie SP-SDW-MWF

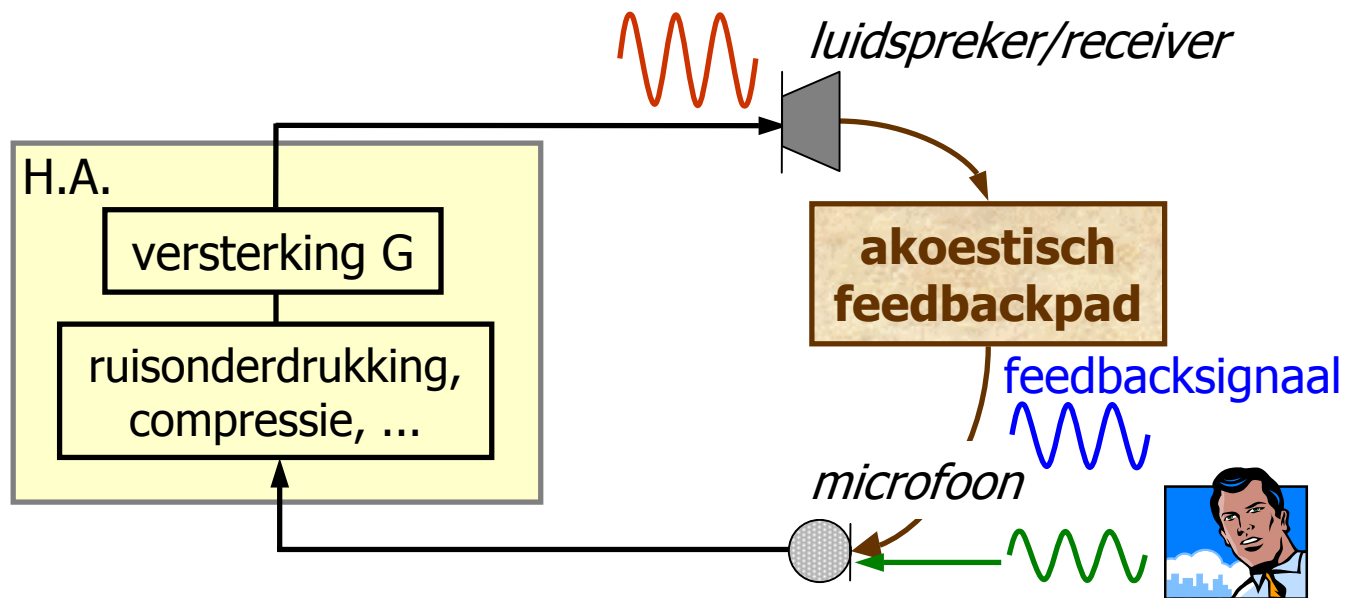
- Resultaten bekomen na convergentie
- GSC ( $1/\mu = 0$ ) : verminderde performantie indien signaallek
- $1/\mu > 0$  verhoogt de robuustheid

SDR-GSC (N=2), unconstrained update,  $\rho = 0.50$ ,  $\lambda = 0.9950$



# Feedback : probleemstelling

Ten gevolge van de akoestische koppeling tussen luidspreker en microfoon kan onstabiliteit (fluiten van het hoorapparaat) optreden wanneer de versterking wordt opgedreven.



**➔ versterking G is beperkt!**

Aangepaste technieken zijn dan ook nodig om het feedbacksignaal te onderdrukken en stabiliteit te garanderen bij grote waarden van G.

# Feedbackonderdrukking : klassieke oplossingsmethodes

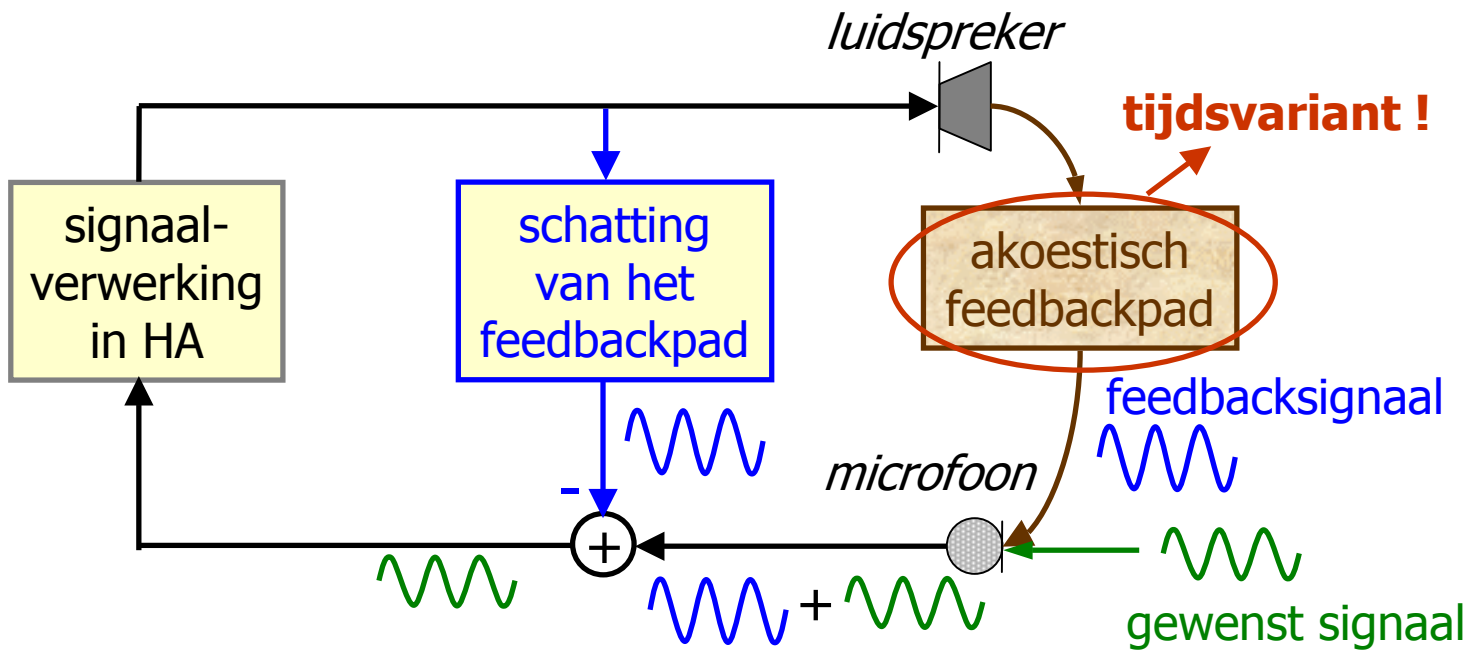
- Om het fluiten van het hoorapparaat tegen te gaan kan men de akoestische koppeling tussen luidspreker en microfoon verminderen. Dit kan eenvoudigweg door gebruik te maken van gesloten oorstukjes. Omwille van het draagcomfort kiest men echter steeds vaker voor open aanpassingen. Dit werkt onstabiel dan weer in de hand.
- Men kan zich dan beroepen op (klassieke) signaalverwerkings-technieken die
  - de fasekarakteristiek van het signaal veranderen
  - niet-lineaire operaties (bvb. frequentieverschuiving) op het signaal uitvoeren
  - delay (signaalvertraging) invoegen
  - ...

Deze veranderen het akoestische pad en ontmoedigen feedback.

Het succes van deze oplossingen, dwz. de hoeveelheid extra versterking die men verkrijgt vooraleer onstabiel optreedt, is doorgaans beperkt. Verder wordt de signaalkwaliteit aangetast.

→ meer performante oplossingen lijken aangewezen

# Feedbackonderdrukking : modellering van het akoestische pad

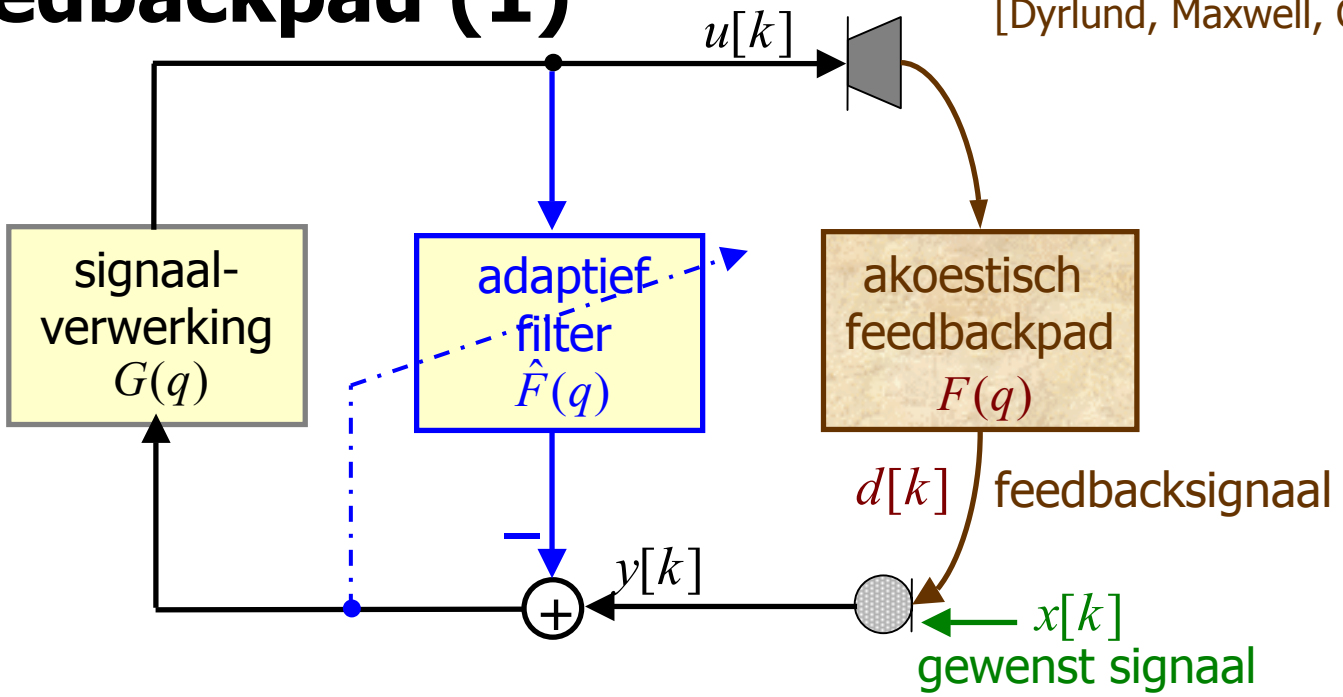


- op deze manier kan een hogere versterking gerealiseerd worden zonder het signaal te vervormen
- moeilijkheid : het akoestische feedbackpad is tijdsvariant

**➔ adaptieve schatting van het feedbackpad vereist!**

# Adaptieve schatting van het akoestische feedbackpad (1)

[Dyrlund, Maxwell, Greenberg]



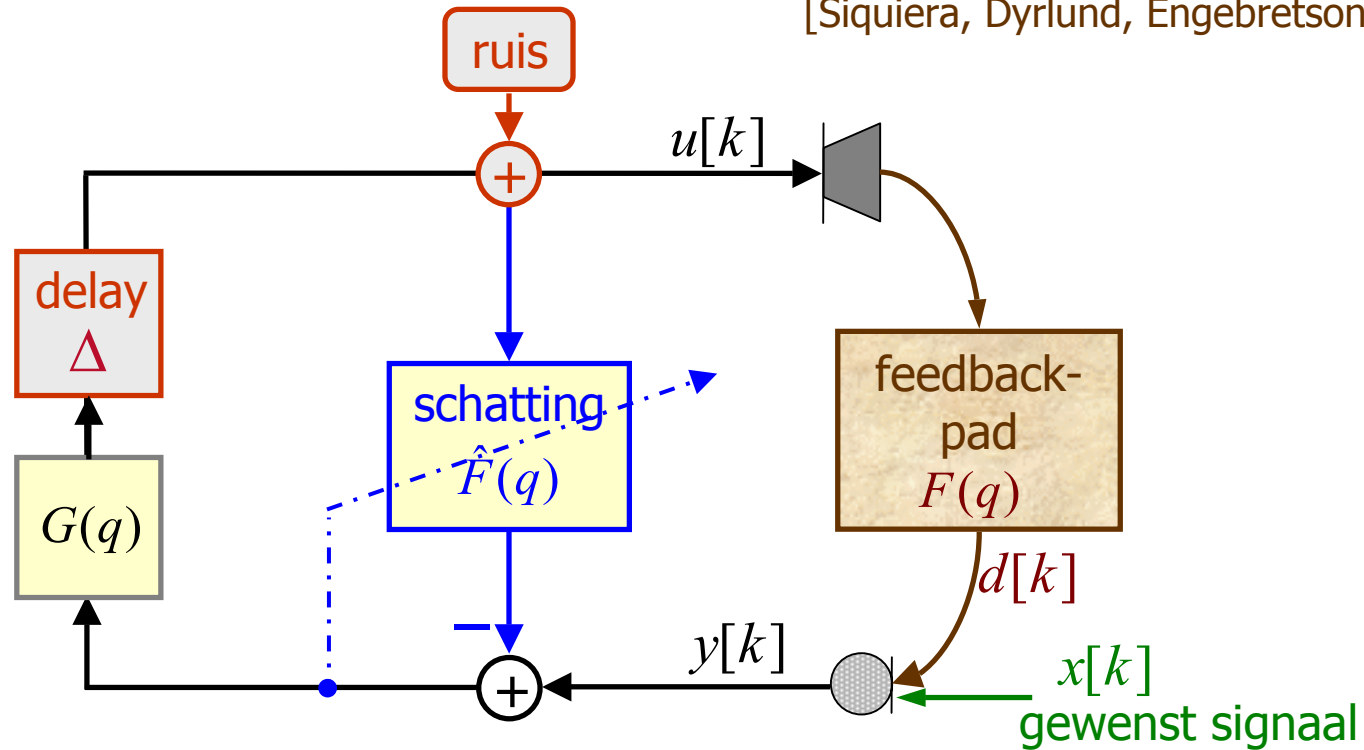
Het adaptieve filter onderdrukt die signaalcomponenten in  $y[k]$  die gecorreleerd zijn met  $u[k]$ . Voor een typische toepassing waar het gewenste signaal  $x[k]$  niet wit is (bvb. spraak of muziek), is  $u[k]$  gecorreleerd met  $x[k]$ .

**➔ Bijgevolg wordt ook het gewenste signaal onderdrukt !**

# Adaptieve schatting van het akoestische feedbackpad (2)

**Oplossing** : verminder de correlatie door delay of ruis toe te voegen

[Siquiera, Dyrland, Engbretson]



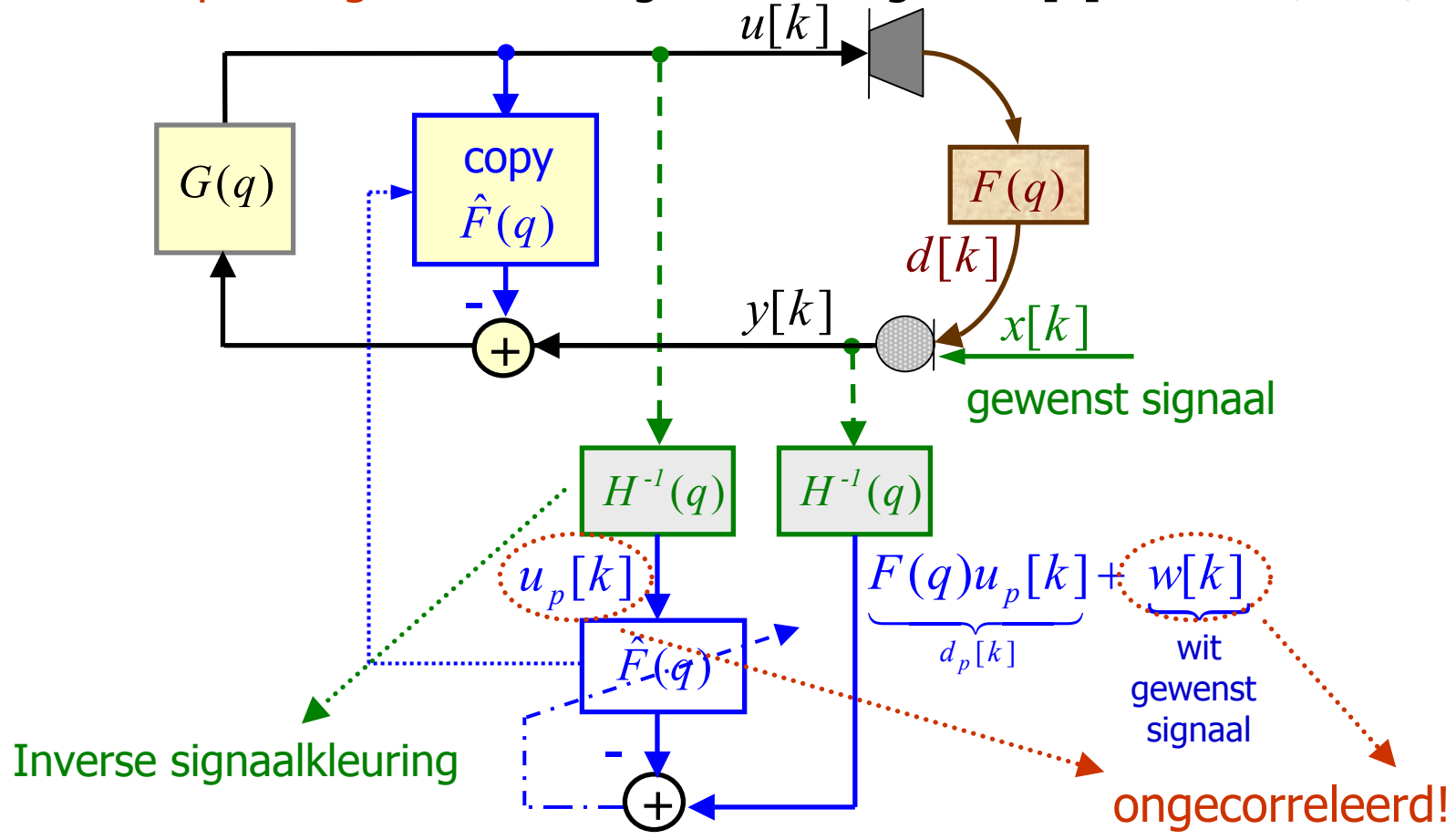
Toegelaten delay of ruisniveau is echter beperkt !



**Decorrelatie en bijgevolg feedbackonderdrukking is gelimiteerd!**

# Akoestische-feedbackonderdrukking gebaseerd op lineaire predictie

Andere oplossing : maak het gewenste signaal  $x[k]$  wit! [Hellgren, Spri



**Meer betrouwbare schatting van het feedbackpad!**

# Simulatieresultaten (1)

## Set-up

- opgemeten feedbackpaden:
  - 2 commerciële BTEs geplaatst op Cortex MK II kunsthoofd
  - vent size 2 mm
  - met en zonder mobiele telefoon vastgehecht aan het hoofd
- Verschillende versterkingsfactoren : beneden, in de buurt van, en boven de grens van onstabieliteit

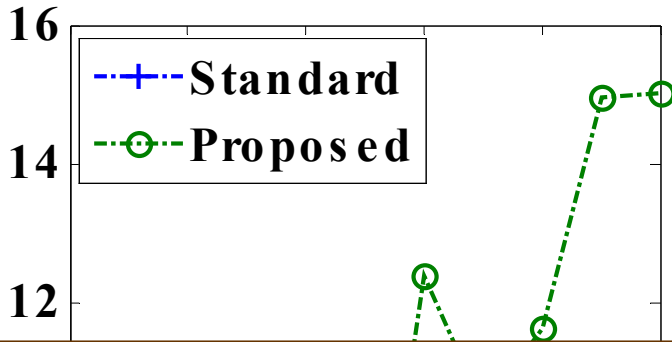
**Performantiemaat** : Added Stable Gain [Kates]

$$ASG = 20 \cdot \log_{10} \left( \min_{\omega} \frac{1}{|F(\omega) - \hat{F}(\omega)|} \right) - 20 \cdot \log_{10} \left( \min_{\omega} \frac{1}{|F(\omega)|} \right)$$

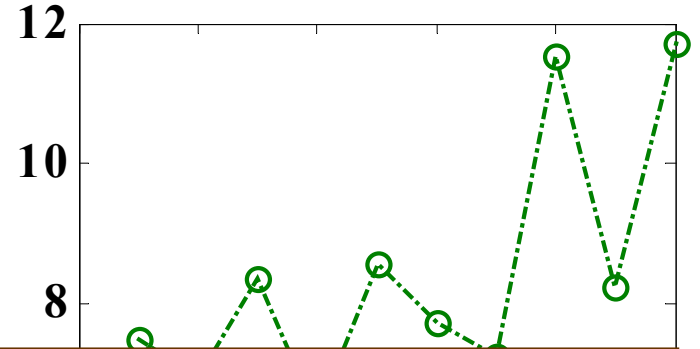


# Simulatiresultaten (2)

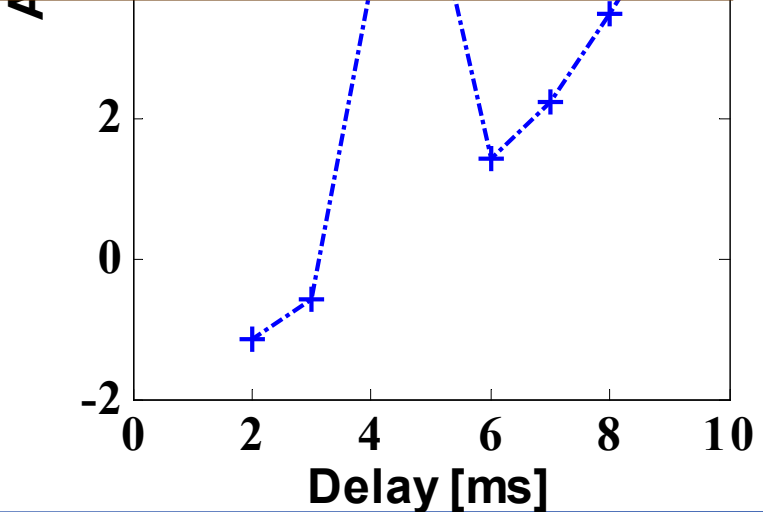
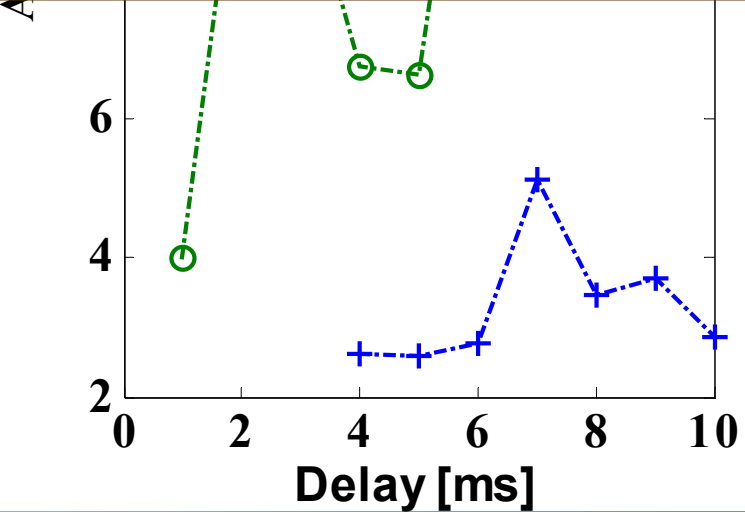
### BTE 1 (G = 6)



### BTE 2 (G = 25)



Het voorgestelde algoritme laat **2,5 tot 11 dB meer versterking** toe dan de standaard adaptieve approach.



# Onderzoek naar signaalverwerkingsalgoritmen in het HearCom-project (1)

- Evaluatie van state-of-the-art/nieuwe veelbelovende signaalverwerkingsalgoritmen voor H.A.'s en C.I.'s, onderverdeeld in 5 klassen :
  - een-kanaalsruisonderdrukking
  - meer-kanaalsruisonderdrukking
  - dereverberatie
  - bronscheiding (blind source separation)
  - feedbackonderdrukking
- Hierbij zijn zowel universitaire onderzoeksgroepen als industriële partners betrokken :
  - Cochlear Technology Center Europe, België
  - Katholieke Universiteit Leuven, België
  - Ruhruniversität Bochum, Duitsland
  - Universität Erlangen, Duitsland
  - Universität Oldenburg, Duitsland
  - Siemens Audiologische Technik, Duitsland
  - GNResound, Nederland/Denemarken
  - Kungliga Tekniska Högskolan, Zweden

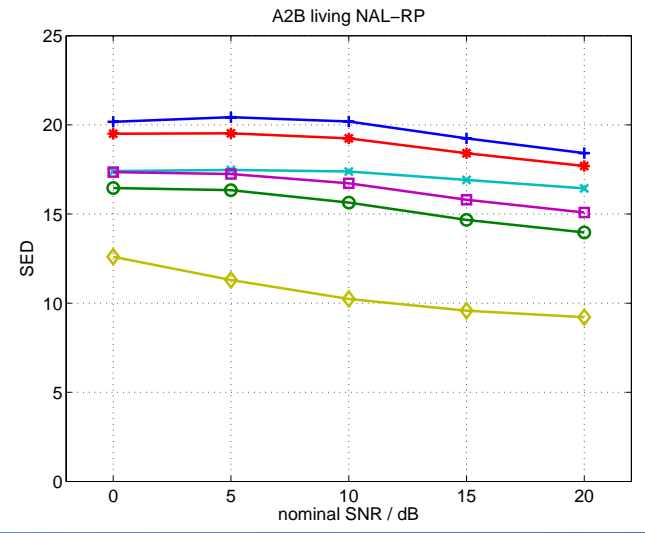
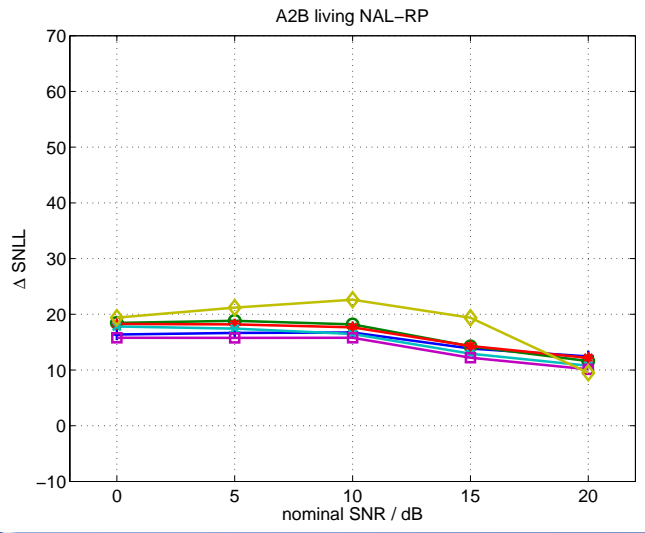
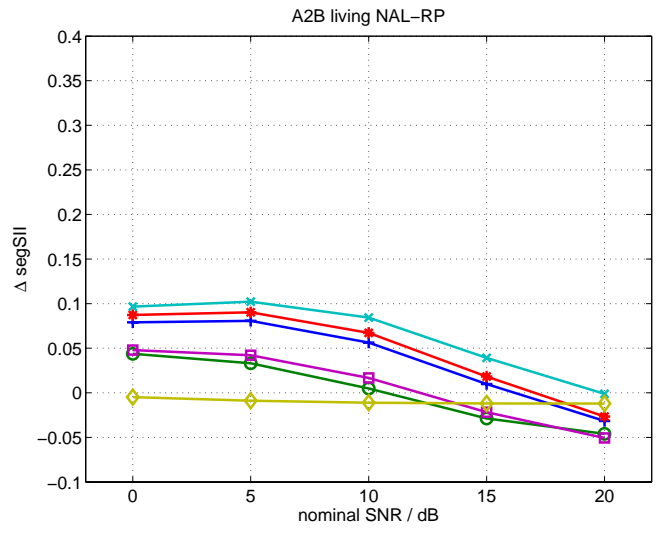
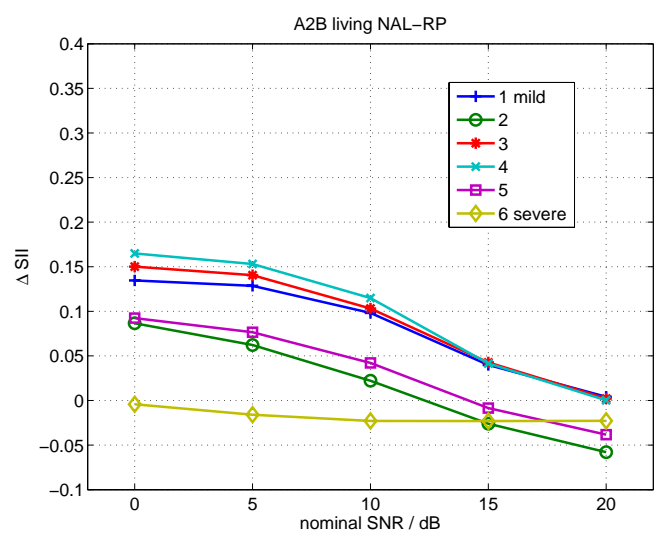
# Onderzoek naar signaalverwerkingsalgoritmen in het HearCom-project (2)

- In eerste instantie werden een aantal veelbelovende algoritmen geselecteerd en gevalideerd m.b.t. de te verwachten verbetering in spraakverstaanbaarheid voor normaalhorende luisteraars :
  - evaluatie gebaseerd op real-life data opgenomen met 3-mic H.A.'s in een aantal representatieve omgevingsscenario's
  - volgende fysische performantiematen werden gehanteerd :
    - segmentele SNR-verbetering
    - spraakverstaan-gewogen SNR-verbetering
    - segmentele spraakverstaan-gewogen SNR-verbetering
    - spraakdistorsie
- Real-time implementatie van de meest belovende algoritmen op eenzelfde PC-gebaseerd 'Master Hearing Aid' hardwareplatform. Alle geselecteerde algoritmen werden in real time geïmplementeerd, rekening houdend met
  - rekencomplexiteit
  - algoritmische vertraging
  - mogelijke integratie met andere signaalverwerkingsblokken

# Onderzoek naar signaalverwerkingsalgoritmen in het HearCom-project (3)

- Grondigere fysische evaluatie gebaseerd op een set van 6 auditory profiles die representatief zijn voor de meest voorkomende types gehoorverlies. Hierbij maakt men gebruik van functionele auditieve modellen die rekening houden met fundamentele aspecten van gehoorverlies.
- Evaluatie gebaseerd op real-life data opgenomen met 3-mic H.A.'s in een aantal representatieve omgevingsscenario's
- Volgende fysische maten werden gehanteerd :
  - speech intelligibility index (SII)
  - segmentele SII (segSII)
  - signaal-ruis loudness level difference (SNLL)
  - signal excitation-level distortion (SED) : maat voor de spectrale afwijking tussen geproceste en niet-geproceste signalen

# Onderzoek naar signaalverwerkingsalgoritmen in het HearCom-project (4)



# Onderzoek naar signaalverwerkingsalgoritmen in het HearCom-project (5)

- Toekomstig werk :
  - perceptieve testen met de geselecteerde real-time algoritmen, en dit zowel met normaal- als slechthorenden. Op deze manier kan worden nagegaan of de luistertesten vroegere bevindingen op basis van fysische maten bevestigen.
  - bestuderen van interactie-effecten tussen verschillende signaalverwerkingsblokken
  - studie van bilaterale algoritmen en een realisatie hiervan op het 'Master Hearing Aid' hardwareplatform. Een van de uitdagingen hier is de communicatielink tussen linker en rechter hoorapparaat.