

1. Inleiding

Bij alle toepassingen waarbij geluid (spraak) over digitale netwerken wordt gestuurd treden echoverschijnselen op. Deze verschijnselen doen veel afbreuk aan de kwaliteit van de communicatie en worden daarom bestreden. Tegenwoordig worden daarvoor vooral DSP's ingezet omdat ze makkelijk zijn toe te passen. Toch komen de technici die hiervoor kiezen vaak bekocht uit. Er komen nogal wat problemen naar boven die niet gemakkelijk zijn op te lossen. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat deze technici de principes van de echobestrijding niet kennen. Daardoor kunnen zij de randvoorwaarden voor het functioneren van de DSP niet goed invullen. In dit technisch essay worden de basisprincipes van echobestrijding uitgelegd ter ondersteuning van de technici die echobestrijding willen gaan toepassen. De oorzaak, de bestrijdingsmethode's en de bekende daarbij behorende problemen worden uitgebreid besproken.

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

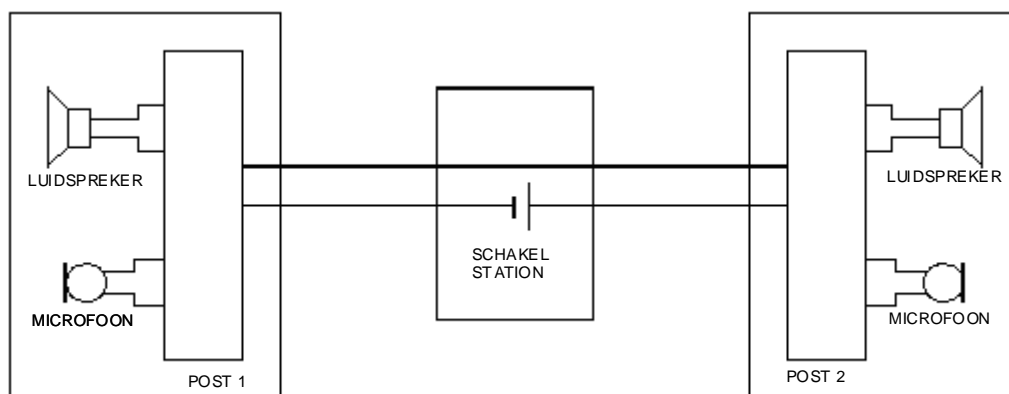
Oorzaken van echoverschijnselen.

Afhankelijk van de plaats van ontstaan en de eigenschappen ervan is echo te verdelen in lijn echo en akoestische echo. De optredende echo is altijd een combinatie van beide.

Lijn echo

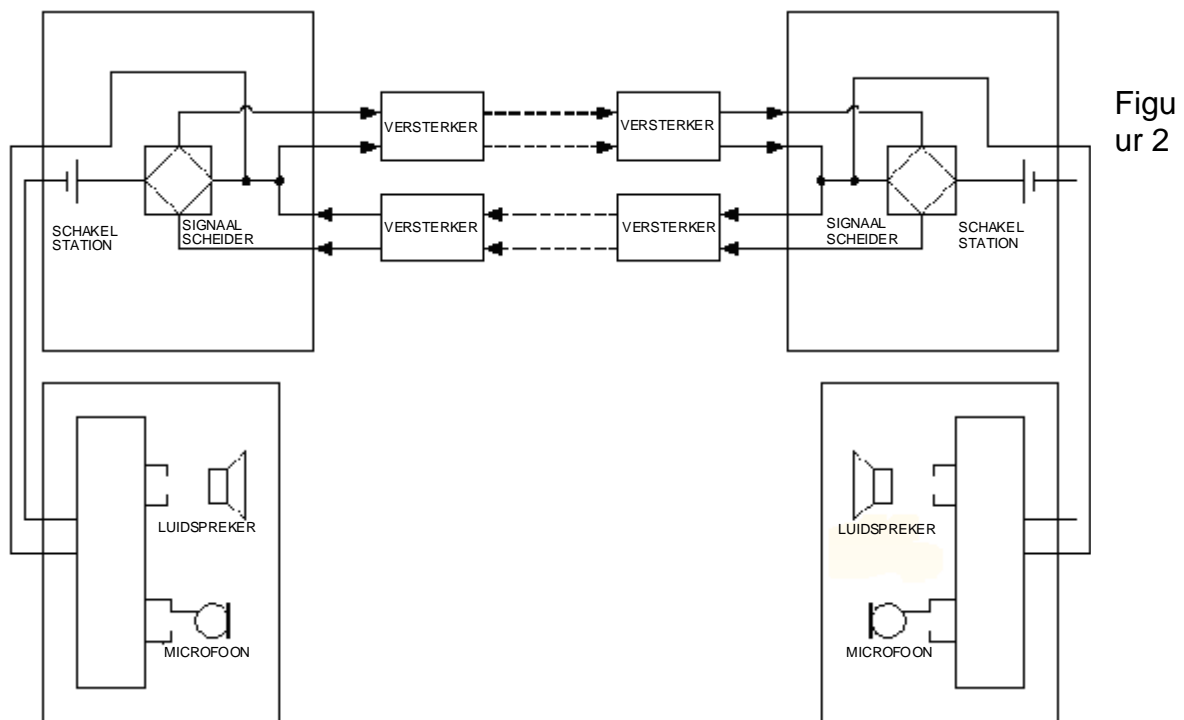
Lijn echo wordt veroorzaakt door de elektrische verbinding tussen de verschillende posten. Als voorbeeld dient een vereenvoudigd schema van twee posten.

Figuur 1



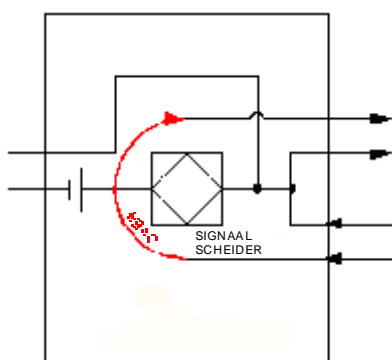
In figuur 1 wordt dit schema weergegeven. Het gaat om twee posten die verbonden zijn via een tweedraadsnetwerk. Over deze verbinding gaat het heengaan- en het teruggaande geluid. Het schakelstation zorgt voor de juiste verbinding als er meerdere posten zijn aangesloten. De meeste lokale verbindingen werken volgens dit principe. Tengevolge van kabelverliezen is het bij lange lijnen echter noodzakelijk de signalen tussentijds te versterken. Op een tweedraadsverbinding is het echter niet mogelijk de signalen zonder meer te versterken. Het gaat immers om tweerichtingsverkeer! De signalen moeten dus eerst van elkaar worden gescheiden, apart worden versterkt en vervolgens weer worden gemengd. De signaalscheider (ook wel hybride genoemd) scheidt het inkomende en het uitgaande signaal naar twee tweedraadsverbindingen. Deze verbindingen kunnen nu regelmatig worden versterkt zodat de signaalkwaliteit gewaarborgd kan worden. Een bijkomend voordeel is dat de gescheiden signalen nu ook via digitale netwerken kunnen worden verstuurd. Het is immers éénrichtingsverkeer! Dankzij de compressie mogelijkheden en de betere overdracht betekent dat meteen ook winst in kwaliteit en capaciteit. Dit principe wordt weergegeven in figuur 2.

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken



Figuur 2

We zien in figuur 2 dat de, voor de versterking, noodzakelijke scheiding van de signalen wordt geregeld in de signaalscheider die in dit geval is samengebouwd met het schakelstation. Het is juist deze signaalscheider die zorgt voor lijnecho. Idealiter zou het signaal aan de tweedraadszijde van de signaalscheider bestaan uit de som van het inkomende en uitgaande signaal terwijl aan de vierdraadszijde de ene verbinding alleen het inkomende en de andere alleen het uitgaande signaal bevat.



In werkelijkheid bestaat deze ideale scheider niet. Tengevolge van kleine variaties in lijn impedantie, spreiding in componenten en dergelijk bestaat er altijd enige overspraak tussen de inkomende en uitgaande signalen. Daardoor wordt het ingaande signaal gedeeltelijk gemengd en teruggestuurd met het uitgaande signaal. (zie figuur 3)

De lijn echo is beter hoorbaar naarmate de afstand (vertraging) groter is. Omdat de signaalscheiders aan beide zijden last van overspraak hebben kan de echo enige malen terugkeren alvorens ze uitsterft.

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

Overigens treedt de overspraak ook omgekeerd tussen uitgaande lijn en ingaande lijn op. Omdat de afstand tussen het schakelstation en de post over het algemeen klein is wordt dit signaal over het algemeen niet als echo ervaren maar als het direct klinken van de eigen stem uit de luidspreker. In de meeste gevallen wordt dat door de gebruiker juist als prettig ervaren. In dat geval is deze echo dus niet hinderlijk en wordt daarom meestal verwaarloosd. Omdat de overspraak weg over het algemeen kort is zijn lijnecho's over het algemeen kort. Bovendien zullen ze vrij constant zijn wat betreft vertraging en andere eigenschappen. Lijnecho is daarom goed te bestrijden en deze bestrijding zal over het algemeen plaatsvinden bij de bron; de signaalscheider.

Akoestische echo

Anders wordt het zodra er gebruik wordt gemaakt van open posten (handsfree) waarbij de luidspreker en de microfoon akoestisch verbinding kunnen maken. In dat geval treedt er een tweede vorm van echo op die veel hardnekkiger is en zelfs kan leiden tot het rondzingen van de installatie. De lijn echo wordt bovendien versterkt door de akoestische echo omdat het echosignaal nu ook nog eens akoestisch wordt teruggestuurd.

De akoestische echo wordt veroorzaakt door de terugkoppeling van het door de luidspreker weergegeven signaal in de microfoon. Deze terugkoppeling komt op allerlei manieren tot stand. Direct binnen de post of via reflectie tegen muren, plafonds, obstakels (waaronder de gebruiker) en door doorgegeven akoestische trillingen in het materiaal van de post zelf komt het geluid dat wordt uitgestuurd door de luidspreker weer terug in de microfoon. De post werkt daarbij ook nog vaak als klankkast hetgeen de situatie verder verslechtert.

De akoestische echo verschilt sterk van de lijnecho. Allereerst zijn de vertragingstijden vele malen langer. De snelheid van elektromagnetische golven bedraagt 3×10^8 meter per seconde terwijl de snelheid van geluidsgolven "slechts" 3×10^2 meter per seconde bedraagt. Dat is maar liefst een verschil in de orde van de zesde macht! Het gevolg is dat de spreker een echo hoort die is gebaseerd op de som van de akoestische terugkoppeltijd en de overdrachtijd van het netwerk (x 2) Een ander verschil met de lijnecho is dat de akoestische echo via vele wegen loopt en daarmee bovendien afhankelijk is van de ruimte waarin de post geplaatst is. Bij mobiele telefoons zal die ruimte veranderen met de positie van de gebruiker! Dat maakt dat akoestische echo lastiger te bestrijden is dan lijnecho. Het systeem moet niet alleen verschillende reflecties onderdrukken maar ook dynamisch reageren op de veranderingen in de akoestische terugkoppeling.

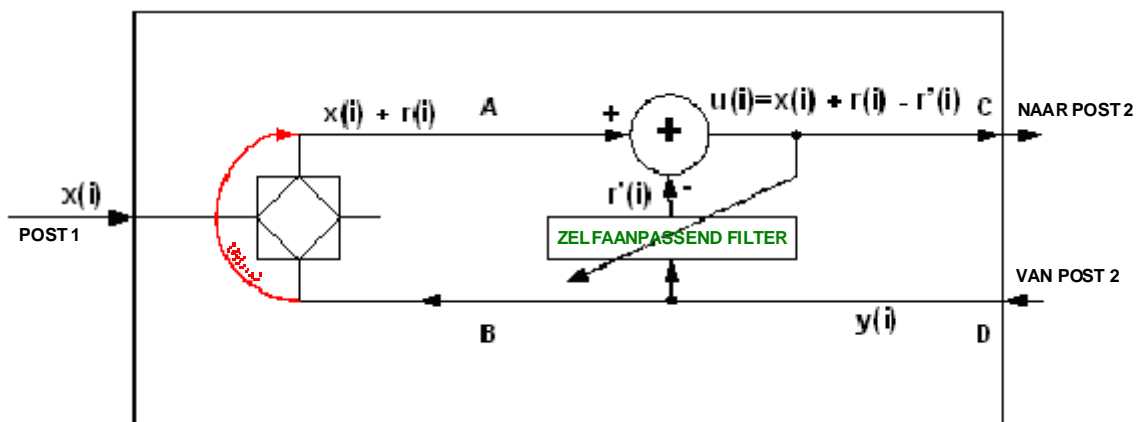
Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

Echo bestrijdingsmethodiek

Gezien het bovenstaande zal echobestrijding gebaseerd moeten zijn op een zelf aanpassend systeem.

Om te beginnen beschouwen we eerst het onderdrukken van lijnecho voor een post. De meeste van de toegepaste principes gelden namelijk ook voor de onderdrukking van akoestische echo.

Figuur 4



In figuur 4 is wordt schakelstation inclusief signaalscheider van de actieve post (post 1) weergegeven. Deze post maakt contact met een andere veraf gelegen post via een vierdraadssysteem. In de uitgaande lijn van dit systeem is een zelfaanpassend filter opgenomen. Bij elk punt van de verbinding staan de bijbehorende signalen weergegeven als functie van het samplenummer (i).

Verklaring van de weergegeven signalen:

$x(i)$: signaal van de actieve post (tweedraads verbinding)

$u(i)$: signaal dat na filtering naar post 2 wordt gestuurd

$y(i)$: signaal dat terugkomt van post 2

Het principe van de echo onderdrukking is eenvoudig:

De bedoeling is dat post 1 geen echo terug geeft aan post 2.

Een deel van het signaal $y(i)$ dat binnenkomt van post 2 wordt overgedragen aan de uitgaande lijn als $r(i)$, de ongewenste echo die terugkeert naar post 2. Het signaal $x(i)$ van post 1 wordt bij A gemengd met $r(i)$. Het zelf-aanpassend filter (FIR) bootst de overspraak in de signaalscheider na en produceert een kopie $r'(i)$ van de ongewenste echo $r(i)$ op basis van het binnengekomen signaal $y(i)$.

Als $r(i)$ en $r'(i)$ precies gelijk zijn, zullen zij elkaar opheffen in de verschilversterker die is aangesloten tussen A en C en de uitgang van het filter. Als $r(i)$ en $r'(i)$ niet precies gelijk zijn hoort men op post 2 niet alleen het signaal $x(i)$ van post 1 maar ook het verschil tussen $r(i)$ and $r'(i)$; het echo fout of rest signaal.

Het foutsignaal $e(i) = r(i) - r'(i)$, wordt gebruikt om de eigenschappen van het filter aan te passen. Dat wil zeggen dat de echo onderdrukking zichzelf regelt met behulp van het foutsignaal op punt C zodanig dat dit zo klein mogelijk wordt.

Het is daarmee meteen duidelijk dat dit principe enige tijd nodig heeft om zichzelf in te regelen tot de minimale echofout. De daarvoor benodigde tijd heet de convergentietijd. Bovendien is het systeem niet in staat zichzelf te regelen als het terugkerende signaal van post 2 $y(i)$ nul is. (Er is dan overigens ook geen sprake van echo). Daarom moet er altijd een referentiesignaal zijn bij het begin van de conversatie. Bij een behoorlijke echo onderdrukking zal een simpel "hallo" op post 2 voldoende moeten zijn voor de convergentie van het systeem.

Een ander probleem treedt op als er tegelijkertijd signaal van post 1 $x(i)$ binnenkomt. Dat signaal verstoort het terugkoppelingssignaal. Het filter kan zichzelf daarom alleen regelen als $x(i)$ gelijk is aan nul. De aanpassing wordt daarom sterk vertraagd of stopgezet als beide posten door elkaar praten.

Het toegelichte principe is lineair en zeer gevoelig voor niet lineaire afwijkingen in de echo weg. Het principe is niet geschikt voor het oplossen van niet lineaire echo problemen.

Het meest gebruikte echo onderdrukkings algoritme wordt NLMS genoemd.

(Normalized Least Mean Squares) ook wel bekend als het genormaliseerd stochastic gradient algoritme of variaties daarop. Het is een goedkope manier om de beste filterinstellingen vast te stellen. Het algoritme berekend bij elke stap van aanpassing (monster) de kleinst mogelijke van het bepalende kwadraat van de rest echo. De normalisatie geschiedt op basis van het volume omdat dat bij spraak sterk wisselt. De algemene formule voor dit algoritme is:

$$a_k(i+1) = a_k(i) + 2 \cdot \beta \cdot \frac{e(i) \cdot y(i-k)}{N \cdot \sigma^2}$$

symbolen:

i	monster nummer
a_k	k -th coëfficiënt
N	aantal filter coëfficiënten
b	aanpassingsstap (beïnvloed convergentie tijd en filterkwaliteit)
e	restecho of echofout
y	binnenkomende signaal
s_2	vermogen van het referentiesignaal

Het filter moet voldoende coëfficiënten hebben om alle optredende vertragingen tussen plaats van ontstaan en plaats van onderdrukking van de echo te kunnen verwerken. Dat wil zeggen de totale vertraging tussen de punten A en B in figuur 4 inclusief netwerkvertragingen.

De lijnecho is daarbij kort gemiddeld tussen de 2 tot 4 milliseconde. Gewoonlijk wordt bij lijnecho onderdrukking voor 16 milliseconde gekozen, wat zo'n beetje de bovengrens is van de optredende vertragingen. Een echoweg van 16 ms vraagt om 128 coëfficiënten bij een bemonsteringsfrequentie van 8KHz.

Dezelfde methode wordt ingezet voor de onderdrukking van akoestische echo. Vanwege de veel langere echo weg(en) wordt hier over het algemeen gekozen voor een weg van 256 ms hetgeen betekent dat er 2048 coëfficiënten nodig zijn bij een bemonsteringsfrequentie van 8KHz.

Echo onderdrukking prestaties

Belasting van de processor

De op NLMS gebaseerde echo onderdrukkers werken over het algemeen behoorlijk. De specifieke problemen van akoestische echo en bijbehorende storingen zoals achtergrond geluiden en ruis zijn er echter niet goed mee op te lossen. Daarom zijn er inmiddels een flink aantal uitbreidingen van dit filter in omloop.

Het besproken NLMS algoritme werkt geheel en al in het tijd domein.

Het eerste probleem dat moet worden overwonnen bij het toepassen van echo onderdrukking gebaseerd op het tijd domein is de belasting van de processortijd.

Voor het efficiënt onderdrukken van akoestische echo zijn vele filtercoëfficiënten nodig. De lange berekeningen direct in het tijd domein leggen echter een enorm beslag op de processor tijd. We kunnen het NLMS algoritme zodanig aanpassen dat de filter coëfficiënten eenmaal per blok monsters $y(i)...y(i+n)$ worden ververst in plaats van per monster.

Een dergelijke aanpassing heet een blok NMLS of BLMNS. Het voordeel van het vasthouden van de filtercoëfficiënten gedurende een blok monsters is dat het daardoor mogelijk is de t krommen uit het tijd domein te vervangen door vermenigvuldigingen in het frequentiedomein.

De belasting van de processor bij het direct volgen en berekenen van de monsters in het tijd domein is evenredig met N^2 (het aantal benodigde vermenigvuldigingen als we N monsters nemen en N coëfficiënten in het filter hebben). Berekeningen in het frequentiedomein vragen om een aantal discrete fast fourier transformaties (DFT's). Fast fourier transformatie is een zeer efficiënte implementatie van DFT's en belast de processor evenredig met $N \log_2(N)$. Een duidelijke verbetering ten opzichte van de directe berekeningen in het tijddomein dus. Natuurlijk kleven er ook nadelen aan deze methode. Allereerst is de convergentietijd langer omdat de aanpassing immers pas na N monsters wordt berekend waarmee de aanpassingsstappen groter en dus trager worden. Daarmee veroorzaken dit type echoonderdrukkers dus ook een vertraging in de verwerkingstijd. Bovendien heeft een FFT oplossing veel meer geheugen nodig. We moeten dus verlies van convergentiesnelheid, vertraagde verwerking en meer geheugen afwegen tegen de winst aan processor capaciteit die vrij blijft voor andere processen.

Achtergrond geluiden en ruis

NLMS en BNLMS georiënteerde echo onderdrukking presteert slecht bij achtergrondgeluiden en of ruis. Ze zijn dus niet geschikt voor open communicatie toepassingen in luidruchtige omgevingen. Ook hier biedt de frequentie domein georiënteerde echo onderdrukking betere prestaties. Het gaat dan om analyse en synthese in het frequentiedomein (of sub band verwerking) waarmee veel aan rekenkracht is te besparen en aan kwaliteit is te winnen en zelfs de vertragingstijd is te bekorten. Het is zelfs mogelijk ruisonderdrukking toe te passen gebaseerd op frequentie domein gebaseerde ruisonderdrukking. Dat verbetert de geluidskwaliteit enorm. Ook wordt de echo onderdrukking mindere gevoelig voor niet lineariteiten omdat het zelf aanpassende filter sterk zal regageren op de basisfrequenties terwijl de relatief zwakke harmonische frequenties kunnen worden onderdrukt als zijnde ruis. De frequentiedomein echo onderdrukkers bieden dus in deze situaties veel voordelen.

Tenslotte bieden echo onderdrukkers in het frequentie domein een betere oplossing als er van twee kanten tegelijk wordt gesproken.

Kortom frequentie domein gebaseerde echo onderdrukking is te prefereren boven tijd domein gebaseerde echo onderdrukking.

De voordelen nog even op een rijtje:

- beter in onderdrukking van akoestische echo
- betere ruis onderdrukking
- mogelijkheid voor geïntegreerde ruisonderdrukking
- minder gevoelig voor non lineariteit
- beter in tweespraak situaties
- minder processor belasting

Daartegenover staat dus dat er ruim meer geheugen nodig is.

Fouten bij het integreren van Echo onderdrukking

In dit hoofdstuk worden de meest voorkomende fouten besproken die voorkomen bij de integratie van echo onderdrukking.

Het is belangrijk om de eisen die echo onderdrukking stelt aan het systeem te begrijpen en in te willigen via het ontwerp. Dat betekent vaak dat het ontwerp al dan niet grondig moet worden herzien. Dat is noodzakelijk want als er aan de voorwaarden voor echo onderdrukking niet is voldaan zal deze ook nooit werken! Kennis van de eisen kan bij volgende ontwerpen dit herzien voorkomen.

Niet lineaire vervorming (NLV) door de hardware

Het allereerste probleem voor echo onderdrukking wordt gevormd door niet lineaire vervorming in het overspraak (echo) pad. -16dB niet lineaire vervorming is daarbij de grens die algemeen wordt aangenomen. Grotere vervormingen zullen de echo onderdrukking ernstig verstoren. Uiteraard geldt hoe minder vervorming hoe beter.

NLV treedt overal op. In volgorde van aandeel noemen we luidsprekers, microfoons, versterkers, signaalscheiders en DAC/ADC's (codecs).

Het is dus zaak componenten uit te kiezen met een goede lineariteit en de combinatie eerst in een proefopstelling te meten, voor dat het definitieve ontwerp wordt gemaakt. Het zijn vooral de analoge componenten en signaalpaden die oorzaak zijn van NLV. Bijvoorbeeld het circuit tussen de DAC en de ADC die zorgen voor de bemonstering en bijsturing van de analoge signalen.

In een open communicatiesysteem hebben we meestal te maken met een microfoon, een voorversterker een codec (ADC/DAC) een eindversterker en een luidspreker. Zij maken allemaal deel uit van het (akoestische) overspraak pad. Deze hele ketting moet worden getest. Bijvoorbeeld door een testsignaal naar de DAC te sturen. De luidspreker geeft het signaal vervolgens weer en de microfoon pikt dat weer op. Tenslotte slaan we de resultaten daarvan na de ADC weer op zodat we het ingevoerde signaal kunnen vergelijken met de uitvoer.

Een goed testsignaal bestaat bijvoorbeeld uit twee gecombineerde sinussen (bijvoorbeeld 300 en 1800 Hz). In het resultaat moeten we natuurlijk beide sinussen terugvinden. Er zullen ongetwijfeld ook andere frequenties voor komen in het resultaat tengevolge van de NLV. Als we de uitvoer in de spectrum analyzer stoppen kunnen we deze frequenties terugvinden. Vanzelfsprekend vinden we harmonischen van de ingevoerde sinussen maar ook verschildfrequenties van de producten.

Bijvoorbeeld $2 \times 300 = 600\text{Hz}$, $2 \times 1800 = 3600\text{ Hz}$, $600 + 1800 = 2100\text{ Hz}$ en $1800 - 300 = 1500\text{Hz}$. De genoemde waarden zijn allemaal van de tweede orde maar er zullen veel meer producten te vinden zijn van een hogere orde. De vuistregel is nu dat de basis signalen (300 en 1800Hz) minimaal 16 dB hoger zijn dan alle andere signalen. Dat wil zeggen dat de amplitude verhouding tussen deze signalen en de andere signalen groter moet zijn dat 1016 staat tot 20 (= 6.31x).

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

Bovenstaande test is een simpele test die vaak afdoende is en de meeste niet lineaire vervormingen aan het licht brengt. Beter is het om een grondige test uit te voeren volgens de ITO-T O.42 aanbevelingen.

Het is absoluut noodzakelijk bovenstaande of vergelijkbare test uit te voeren. Zijn de resultaten niet naar behoren dan zal eerst de hardware moeten worden aangepast! Pas als de hardware naar behoren functioneert, kan er gedacht worden aan de integratie van de echo onderdrukking.

Als er teveel aan NLV wordt gevonden dan moeten de verschillende schakels van de ketting afzonderlijk worden getest.

Als het probleem in de codec lijkt te zitten dan is deze waarschijnlijk te testen m.b.v. de analoge terugkoppel methode. Houdt er rekening mee dat het verschijnsel ook veroorzaakt kan worden door het verkeerd instellen van de codec!

NLV ontstaat vaak door oversturing van versterkers of de codec als het signaal boven de voor de componenten gestelde limiet komt. Het is dus goed om de gehele signaalweg hierop te controleren en het signaal te verzwakken indien nodig.

Plaatsing van de microfoon en de luidspreker.

De overspraak van de luidspreker naar de microfoon vindt voor een deel binnen de behuizing plaats zowel door de lucht als door mechanische trillingen in de behuizing zelf. Het is belangrijk deze overspraak zoveel mogelijk tegen te gaan, omdat vaak verantwoordelijk is voor NLV. Dit wordt meestal gedaan door de microfoon verend op te hangen in zacht en dempend materiaal dat de microfoon isoleert van de mechanische trillingen en het geluid van de speaker binnen de behuizing. Verder zal het duidelijk zijn dat de microfoon niet op de luidspreker mag worden gericht. Soms kan een richtingsgevoelige microfoon verbetering geven omdat je die van de luidspreker af kunt richten.

Ook ten aanzien van de overspraak buiten de behuizing om (de echo weg) is het beter om akoestisch de zaak zo goed mogelijk in te richten. Deze overspraak loopt via een aantal verschillende wegen via welke het luidspreker signaal terugkomt in de microfoon. Lastig hierbij is dat deze reflectie wegen kunnen veranderen door verplaatsing van personen of objecten in de ruimte voor de post. Die veranderingen veroorzaken een grotere echofout waardoor het filter bij zal gaan regelen. Dat kan tijdelijk zelfs tot divergentie leiden. Vooral snelle veranderingen verstoren de echo onderdrukking enorm. Het is daarom beter de luidspreker en de microfoon te richten op die plaatsen waar zo min mogelijk veranderingen optreden zoals bijvoorbeeld het plafond.

Eisen aan het in en uitgangssignaal

Ook de in en uitgangssignalen moeten voldoen aan strikte eisen wil echo onderdrukking naar behoren kunnen werken.

De eerste eis is dat er geen vertragingen in het signaal mogen zitten ten gevolge de software. Dat wil zeggen dat er geen signaalbehandeling mag plaatsvinden tussen de codec en de echo onderdrukking. Ook het opslaan van samples moet zoveel mogelijk worden vermeden. Het gebruik van grote buffers zal vertraging opleveren in de overspraak weg waardoor de echo onderdrukking niet goed kan werken.

De vertraging in het referentiesignaal $y(i)$ ten gevolge van de software mag niet groter zijn dan de vertraging ten gevolge van de software van $x(i) + r(i)$. In elk ander geval kan de echo onderdrukking niet convergeren omdat het referentie signaal dat moet worden afgetrokken ontbreekt.

Verder is het van belang dat de door de software veroorzaakte vertragingen constant moeten zijn zolang de echo onderdrukking aan het werk is. Wijziging van deze vertraging tijdens de sessie brengt de echo onderdrukking uit balans en verstoort deze ernstig tot geheel.

In het geval dat er wordt gewerkt met een DSP als echo onderdrukker dan moet ook gelet worden op de formaten waarin de monsters worden aangeleverd en afgenomen. Dit is vaak een oorzaak van problemen. Vooral ook omdat men in het geval dat er sprake is van verschillende formaten dit zal oplossen door formaatomzetting. Als dat tussen de echoweg en de echo onderdrukking gebeurt kan dat leiden tot foutieve interpretatie door signaalaanpassingen of door de door de omzetting veroorzaakte vertragingen.

Codec Synchronizatie

Het laatste probleem dat hier wordt besproken is dat van de foutieve codec synchronisatie. Ook dit kan zowel door hardware als software worden veroorzaakt.

Het probleem is uit te leggen aan de hand van het volgende voorbeeld. Een telefoonset gebruikt een codec om de microfoon en luidspreker signalen om te zetten en een tweede codec om te communiceren met de telefoonlijn. Het probleem ontstaat doordat de codecs elk op een eigen kloksnelheid bemonsteren. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als beide codecs bemonsteren op 8KHz maar daarvoor een eigen kristal oscillator gebruikt. Er is dan een kleine afwijking in de bemonsteringstijd waardoor we niet één op één elk monster van de ene codec kunnen doorgeven aan de andere codec. Het uit de pas lopen veroorzaakt ofwel stapeling van monsters in de monster buffer of er vallen gaten omdat de tweede codec data wil ophalen die nog niet in de buffer staat.

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

Het synchroniseren van de codecs door gebruik van een gemeenschappelijke oscillator is natuurlijk de beste en eenvoudigste oplossing. Ook als er verschillende codecs moeten worden ingezet is dit de enig juiste oplossing. In dat geval kan er met behulp van bemonsteringsfrequentie verrekening voor gezorgd worden dat de codecs in de pas blijven lopen.

Als synchronisatie met behulp van een gemeenschappelijke klok niet mogelijk is (bijvoorbeeld in ISDN telefoons waarbij de dataklok op geen enkele manier gerelateerd is aan de codec klok) moet er een andere oplossing worden gezocht. In de praktijk worden de volgende oplossingen gebruikt:

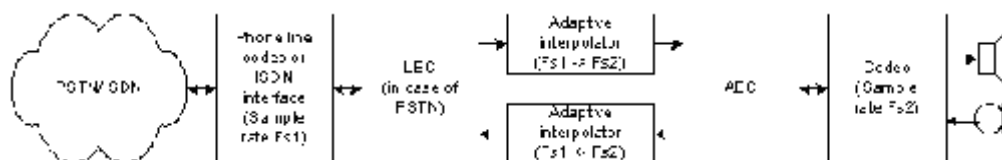
- * Voortdurend bijstellen van de bemonsteringsfrequentie
- * Het weggooien van ontvangen monsters en het herhalen van het laatste monster als er niets is om te verzenden

Deze oplossingen zijn echter niet juist omdat zij het eigenlijke probleem niet oplossen. In veel gevallen worden de problemen daardoor juist versterkt.

De eerste oplossing voegt namelijk NLV toe aan het overspraak pad terwijl ook de vertragingstijd steeds verandert. Beide gevolgen zijn desastreus voor een goede echo onderdrukking. Vooral bij tweespraak zijn de gevolgen verstrekkend. In die situatie past het filter zich niet of heel langzaam aan. Dat gaat goed zolang het overspraakpad niet wijzigt. Bovenstaande oplossing zorgt nu juist voor die veranderingen zodat de echo onderdrukking die zich immers niet aanpast aan die veranderingen niet kan functioneren.

Dit probleem is op te lossen met een zelf aanpassende bemonsteringsfrequentie converter of simpelweg een zelf aanpassende interpolator. Hiervan moeten er twee tussen de codecs worden geplaatst één voor elke signaal richting. De interpolator krijgt een start instelling voor het naar beneden of naar boven bij stellen van de bemonsteringsfrequentie van de ene codec naar de andere. In de loop van de tijd leert de interpolator van verschil in bemonsteringsfrequenties de juiste instelling van de converter.

Deze oplossing wordt weergegeven in figuur 6



Het is hierbij van belang dat de echo onderdrukking direct is aangesloten op de codec en werkt op de bemonsteringsfrequentie van de codec waarmee ze samenwerken.

Echo onderdrukking op een PC

Alhoewel op een PC over het algemeen veel meer rekenkracht aanwezig is dan op embedded producten is het toch niet eenvoudig een goede echo onderdrukking te realiseren. De volgende problemen doen zich voor:

Kwaliteit audio componenten.

De overgrote meerderheid van microfoons , geluidskaarten en PC luidsprekers wordt gebruikt voor het spelen van spelletjes. De kwaliteitseisen zijn daardoor niet hoog en over het algemeen is dus de kwaliteit van deze componenten beroerd.

Het is dus ook hier een vereiste om de NLV test te doen en ondeugedelijke hardware te vervangen voor dat er ook maar een poging wordt ondernomen om echo onderdrukking toe te passen.

Synchronisatie

Een tweede belangrijk probleem is het feit dat de audio in en uitgangen volledig onafhankelijk kunnen zijn en zelfs met hele andere bemonsteringsfrequenties kunnen werken. Het probleem is min of meer vergelijkbaar met dat van de codec synchronisatie. In dit geval is het echter minder eenvoudig om op hardware niveau in te grijpen. Beter is het om een geluidskaart te selecteren die aan de eisen voldoet.

Software problemen

Andere oorzaken van NLV of gemiste monsters kunnen gevonden worden in de software op de PC. zoals audiokaart drivers en het besturingssysteem (BS). De drivers kunnen door slechte implementatie monsters verliezen of ongewenste vervormingen toevoegen aan het signaal. Het BS kan ook veel problemen veroorzaken. Omdat de gebruikers interface van het BS niet real-time kan werken en niet gebonden is aan tijdlimieten zal het gemakkelijk contact met de audio in en uitgangen verliezen. Ook zwaar belaste PC's kennen dat euvel. Voor veel toepassingen is dat geen probleem. Bij MP3 spelers of spelletjes zal niemand het wegvallen van enkele monsters merken. Voor de echo onderdrukking is dat juist dodelijk!

Oplossingen moeten gezocht worden in een geluidskaart met embedded oplossingen, het uitschakelen van zoveel mogelijk toepassingen die processortijd in beslag nemen, het gebruik van real-time BS, een betere PC of het schrijven van real-time services (voor zover mogelijk).

Echobestrijding bij geluidsoverdracht over digitale netwerken

Overzicht van de eisen die aan een systeem worden gesteld

Hier volgt een kort overzicht van de minimale eisen waaraan een systeem moet voldoen om met succes echo onderdrukking te kunnen implementeren.

1. De niet lineaire vervorming binnen de gehele keten moet minder dan -16 dB bedragen.
2. De scheiding tussen luidspreker en microfoon moet zo groot mogelijk worden gemaakt om interne overspraak door de lucht en via de behuizing te minimaliseren.
3. Gedurende de hele sessie moeten de vertragingen in de signaalpaden constant en minimaal worden gehouden.
4. Toegepaste codecs moeten met elkaar synchroon lopen of worden gesynchroniseerd.
5. De drivers en de besturende software moet voldoen aan real-time eisen van de echo onderdrukking

Het testen van echo onderdrukking.

Allereerst moet men de leverancier van de echo onderdrukker vragen in hoeverre deze voldoet aan de ITU-T aanbevelingen (die in feite de standaard zijn). De bijbehorende specificaties moeten worden meegestuurd om een goede selectie te kunnen maken. De betreffende ITU_T aanbevelingen zijn: G.168 for LEO en G.167 voor AEO.

Verder moet er een test programma zijn met enkele testpatronen (het referentie signaal $y(i)$ en het signaal met echo, $x(i)+r(i)$) waarmee de echo onderdrukking kan worden getest.