

**HÖGSKOLAN
I GÄVLE**

AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ

Adaptiv nivåreglering
Dynamisk expansion av ljudsignaler i en reell arbetsmiljö

Sami Kursu

Maj 2013

Examensarbete 15 hp
Elektronikingenjör

Ingonlineprogrammet
Examinator: Per Ängskog

Förord

Examensarbetet har utförts i samarbete med Interactive Institute i Piteå, och författaren vill rikta ett särskilt tack till människorna i detta dynamiskt adaptiva system, för tillhandahållna praktiska faciliteter, synpunkter, vänlighet och stöd.

Tack även till personal på Smurfit Kappa Kraftliner Piteå, för tålamod och rekorderlig assistans i fältarbetet, och Niklas Rothpfeffer, Högskolan i Gävle, för handledning och synpunkter.

Sammanfattning

För att implementera en adaptiv nivåreglering av ljudsignaler i en industriell miljö krävs hänsyn till många faktorer inför en reell implementering. Rapporten avser identifiera dessa faktorer, bedöma deras betydelse, samt presentera en grundläggande översiktlig implementeringsmetod.

Förutsättningarna är ett verklighetsbaserat scenario, i form av ett nyinstallerat larmsystem i ett kontrollrum på ett pappersbruk, där ett av huvudmålen är att förtydliga ljudande larmsignaler för personalen.

Då fysisk tillgång till implementeringsmiljön var begränsad, samplades ljudmiljön så att analys av påverkande bruskillors betydelse för nivåregleringen kunde utföras. Det samplade materialet användes även för att med hjälp av ljudredigeringsprogram belysa hur olika parameterinställningar påverkar dynamisk expansion i den aktuella ljudmiljön.

Ett problem identifierades av det faktum att larmsignalerna själva påverkar graden av nivåreglering i det ögonblick signalerna exponeras för systemets detektormikrofoner, och möjliga metoder för att åtgärda problemet presenteras.

Konstruktionen av en dynamisk expander beskrivs, och en modell och grundläggande algoritm för en eventuell framtida mjukvaruimplementering presenteras.

Analysen visade att bestämning av lämpliga parameterinställningar är komplicerat och osäkert om det enbart görs med hjälp av samplat material, och en optimal reglering förutsätter justering efter gehör på plats i implementeringsmiljön. En relativt långsamt reagerande reglering baserat på RMS-detektering, med låg expansions-ratio och relativt högt tröskelvärde har de bästa förutsättningarna för en mjuk och transparent reglering utan påtagliga artefakter.

En kompletterande passiv nivåreglering förbättrar möjligheterna/förutsättningarna att skapa en lyckad aktiv adaptiv nivåreglering.

Den tillämpade analysmetodens lämplighet kan ifrågasättas med anledning av att samplingen möjligen inte representerar de förhållanden som kommer gälla vid en reell implementering, och att analysen försvåras av att den aurala perceptionen i den fysiska ljudmiljön inte nödvändigtvis med tillräcklig exakthet representeras av en samplad version av densamma.

Abstract

In order to implement adaptive level control of audio signals in an industrial environment, many factors must be taken into consideration prior to actual realisation. This report aims to identify these factors, estimate their significance, and present a basic method of implementation. The prerequisites constitute a real-world scenario, in the form of a newly installed alarm system in the control room in a papermill, where one of the main goals is an enhancement in the human perception of sonic alarm signals.

Since physical access to the actual location was limited, the sonic environment was sampled to allow for off-location analysis of the available noise sources and their significance to the level control. The sampled material was also used, in conjunction with audio editing software, to highlight how different parameter-settings affect dynamic expansion in the actual sonic environment.

A problem was identified by the fact that the alarm signals themselves affect the level of regulation in the very moment they are exposed to the detecting microphones of the control system, and possible solutions to the issue are presented.

The construction of a dynamic expander is described, and a design and basic algorithm for a potential software implementation is presented.

The analysis showed that defining of practically useful parameter settings is complicated and ambiguous if it is done solely on the basis of sampled material, and that an optimal range control demands parameter-tweaking by ear on the actual location. A relatively slow-reacting control system based on RMS-detection, with a low expansion ratio and a relatively high threshold allows for the best possibilities to achieve a smooth and transparent range control without significant artefacts.

An additional complementary passive level control improves the possibilities to implement a successful active adaptive dynamic range control.

The method of analysis used can be questioned with the motivation that the sampled material does not necessarily represent the exact conditions that will exist in a real-world implementation, and that the analysis is obstructed by the fact that the aural perception in the physical sonic environment not necessarily, with adequate precision, is represented by a sampled version of the same.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Installationsmiljö och praktiska förutsättningar	1
1.2 Larmsystem	2
2 Teori	3
2.1 Definition av brus och signal	3
2.3 Perception och praktisk analys av ljud	3
2.3.1 Perceptionsdomäner	3
2.3.2 Sampling och förvrängning	3
2.3.3 Kompensering genom vägning	4
2.4 Nivåreglering - Dynamic Range Control	6
2.4.1 Preventiv nivåreglering	6
2.5 Dynamisk expansion	7
3 Metod och resultat	9
3.1 Sampling analys av brus	9
3.1.1 Bruskaraktärer	9
3.2 Analys av signaler	11
3.3 Simulering och experimentell undersökning av dynamisk expansion	13
3.3.1 Simuleringsmiljö och analysverktyg	13
3.4 Resultat av simulering och experimentell undersökning	14
3.4.1 Akustisk påverkan	14
3.4.2 Bruspåverkan	14
3.4.3 Parametrar i expander	15
3.5 Systemets egenpåverkan	18
3.5.1 Bypass med Sample and Hold	18
3.5.2 Inverting Gain Computer	18
3.5 Översiktlig Realiseringsmetod för dynamisk expander	20
4 Diskussion	22
5 Slutsatser	24
6 Referenser	25

1 Inledning

Det mänskliga örat kan inte "blunda" för inkommande oönskade ljudimpulser. I det moderna samhället och arbetslivet är överdriven exponering av oönskade ljud ofta ett problem. Även om vi medvetet inte uppfattar någon pågående ljudande störning, är vårt omedvetna konstant utsatt för ljudintryck.

I miljöer där exponering av existerande ljudintryck medför en negativ fysisk eller psykisk påverkan, kan akustisk reglering, ljuddesign och signalbehandling utnyttjas för att erbjuda en behagligare upplevelse och hälsosammare miljö.

I ett föregående projekt förändrade Interactive Institute Sonic Studio, genom ett specialanpassat signalsystem och kreativ ljuddesign, ett irriterande och påfrestande industriellt larmsystem, så att upplevd psykisk påfrestning minimerades och funktionalitet optimerades.

Denna rapport undersöker om och hur signalsystemets funktion och larmsignalernas upplevelse ytterligare kan förbättras genom kontinuerlig adaptiv nivåreglering, och vilka faktorer i installationsmiljön som påverkar regleringens design.

1.1 Installationsmiljö och praktiska förutsättningar

Larmsystemet är installerat i en lokal på ca 60 kvm som är uppdelat i ett kontrollrum och ett mindre köksutrymme, enligt Fig. 1. Tre dörrar leder in till lokalen, av vilka två har en större luftsluss för att minska störande ljud utifrån.

Köksutrymmet används som kombinerat kök och fikarum, och är försett med vitvaror enligt normal köksstandard.

En frekvent nyttjad radio finns i vardera rum.

Lokalen är bemannad dygnet runt med en personalstyrka om 4-6 personer, och under dagtid finns till och från ytterligare personal närvarande.

De olika arbetslagen uppvisar sinsemellan en tydlig variation i olika nivåregleringspåverkande aktiviteter, med anledning av divergerande beteende beträffande konversationsljudnivå, bruk av radioapparater etc.

I personalstyrkan finns, p.g.a. stora åldersskillnader, och därmed olika grader av hörselnedsättningar, en mycket stor varians i perceptionell förmåga med avseende på ljud.

I lokalen hörs ett konstant, lågfrekvent och kraftigt bakgrundsbrus från den industriverksamhet som omger lokalen. Bakgrundsbruset är med dB-mätare uppmätt till ca 49dBA, och kan variera något i styrka beroende på fluktuationer i industriverksamhetens pågående driftprocesser.

1.2 Larmsystem

Ett stort antal bildskärmar visar information om olika driftprocesser i fabriksanläggningen. När någon process kräver tillsyn eller behöver åtgärdas, uppmärksammas personalen av en ljudande larmsignal.

Signalsystemet är monofoniskt (endast en signal kan spelas upp åt gången) och utformat för att ge en högupplöst, detaljerad och allmänt högkvalitativ ljudupplevelse. Sammanlagt 17 olika signaler, vilka är designade efter larmets typ och prioritet, finns tillgängliga för uppspelning.

Systemet förser även operatörerna med tydliggörande spatial information i och med att ett flertal högtalare används, och att larmsignal och bildskärm därmed kan korrelera med varandra i rumslig placering.

I köksutrymmet finns en högtalare placerad, och signalsystemets utgångskonfiguration illustreras i Fig 2.

Den adaptiva nivåregleringen är tänkt att använda sig av två detektormikrofoner för att registrera ljud, en placerad i mitten av kontrollrummet och en i köksutrymmet, enligt Fig. 1.

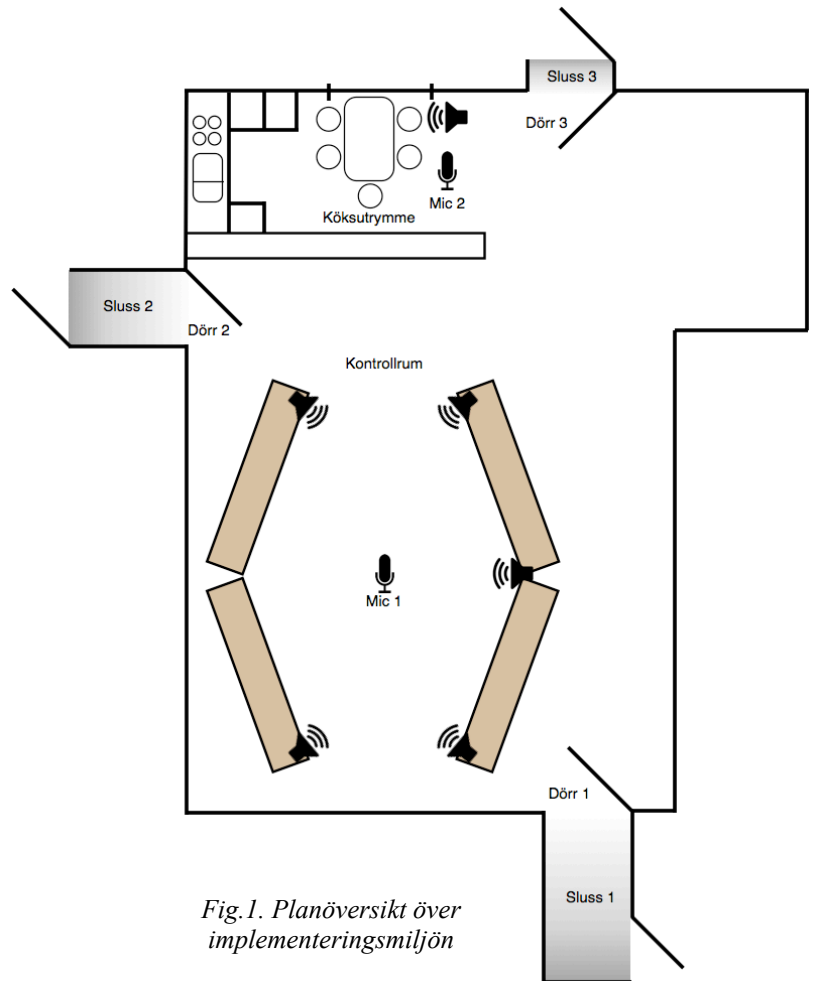


Fig.1. Planöversikt över implementeringsmiljön

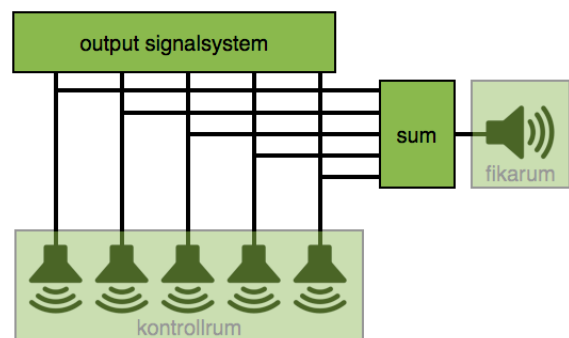


Fig.2. Signalsystemets utgångskonfiguration

2 Teori

2.1 Definition av brus och signal

Begreppet "brus" kan betraktas som en subjektiv term, även om dess vanligaste innebörd avser något som medför någon form av störning [1]. Med termen "brus" avses i denna rapport alla ljud, som särskiljer sig från de larmsignaler som ljuder ur larmsystemets högtalare, vilka definieras som "signaler".

"Brus" kan därmed avse såväl mänskligt tal, smällande dörrar, som statistiskt bakgrundsbrum.

2.3 Perception och praktisk analys av ljud

2.3.1 Perceptionsdomäner

Det mänskliga örats upplevelse av ett ljud i en viss miljö, korrelerar av flera orsaker inte exakt med en inspelning av nämnda ljud.

Analysen i denna rapport baseras till stor del på sampling, varför det är av vikt att poängtera att samplad ljuddata inte utgör en exakt representation av den fysiska upplevelsen i den akustiska ljudmiljön. Man kan se det som att analysen inbegriper två separata perceptionsdomäner, där nivåregleringens "upplevelse" av ljudmiljön är särskild från den mänskliga upplevelsen av ljudmiljön.

En sampling av ljudmiljön besvarar frågan "vad registreras av den automatiska nivåregleringen", och svaret överensstämmer inte nödvändigtvis med den för effektmålet relaterade frågan "hur låter/upplevs ljudmiljön när man befinner sig i den".

Huvudmålet för projektet är att göra signaler tydligare för ett godtyckligt mänskligt öra, varför den mänskliga perceptionen måste vara den slutgiltiga måttstock som nivåregleringens kvalitet bedöms efter.

2.3.2 Sampling och förvrängning

Skillnaden i perceptionsdomänerna medför konsekvenser för analys av samplat ljud, när avsikten är att betrakta dess relevans för mänsklig perception.

I jämförelse med en mikrofon skiljer sig det mänskliga örat kraftigt i fråga om frekvenslinjäritet och transientrespons. Mikrofonens frekvensgång, antaget en "normal" mikrofon, är mycket rakare och mer konstant för varierande ljudtryck än vad örat är. Örat reagerar inte heller lika snabbt på transienta

förlopp som en mikrofon gör, utan registrerar ljudtrycket i transienta impulser jämförelsevis lägre, p.g.a. den responströghet som örat besitter.

För att illustrera örats olinjäritet används ibland "phon", som är en enhet för upplevd hörnivå.

Förhållandet mellan fysisk ljudnivå och upplevd hörnivå illustreras i Fig. 3[2]. Som ett exempel kan man observera att en 100Hz sinuston måste spelas upp i 60dB, för att den ska upplevas lika stark som en 1kHz sinuston uppspelad i 40dB.

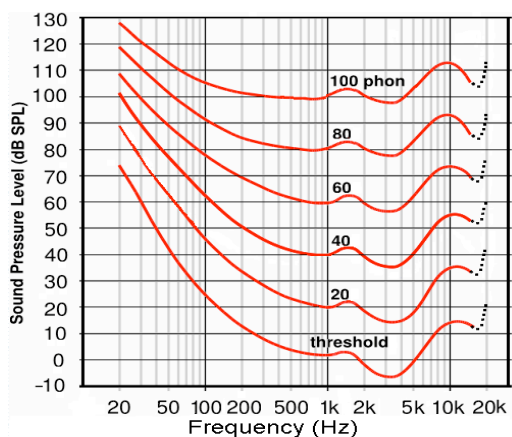


Fig.3. Isofonkurva, ISO226:2003 [2]

Dessa faktorer måste således beaktas i situationer när man studerar det samplade materialets ljudtrycksnivåer och frekvensspektrum, och försiktighet bör vidtas angående slutsatser som baseras på materialet.

Även mikrofonens konstruktion, placering och upptagningskaraktäristik bidrar till divergens gentemot anatomisk perception. I det aktuella fallet exemplifieras detta genom en statistiskt placerad mikrofon med omnidirektionell upptagningskaraktäristik, placerad i en punkt i rummet där mänskliga öron i praktiken aldrig befinner sig.

Ytterligare, om än för situationen relativt insignifikanta, förvrängande faktorer återfinns i den övriga signalkedjan (mikrofonförstärkare, AD/DA-omvandlare, inspelningsmedium etc.)

Det samplade materialets påstådda representation av en upplevd verklighet kan således ifrågasättas, och dess relevans och lämplighet som data, är i många situationer inte nödvändigtvis självklar.

2.3.3 Kompensering genom vägning

Upplevd ljudnivå beror inte enbart på ljudets fysiska nivå utan även på andra faktorer, bl a ljudets frekvensomfång och exponeringstid, och fenomenet har medfört att ett flertal olika vägningsmetoder utvecklats för att bättre illustrera upplevd ljudnivå, liksom grad av upplevd störning av brus [3].

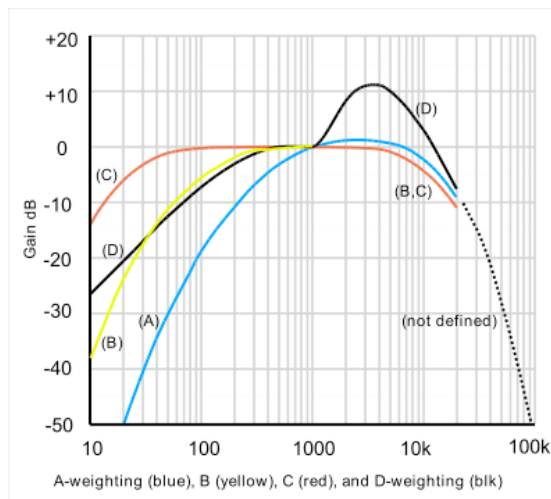


Fig.4. Vanliga vägningsmetoder (Bildkälla: Wikipedia)

Vid utvärdering av ljudmiljöer är A-vägning en standardmetod för mätning av brus och upplevd störning [1]. Vägningen är baserad på en gammal utvärderingsmetod vars exakthet sedan dess ifrågasatts, förbättrats och resulterat i mer korrekta vägningsmetoder [4][5].

A-vägningens felmarginal är större vid stora ljudtryck och låga frekvenser, och vägningen utgår från mätsignalens effektivvärde (RMS), som kan erhållas enligt Ekvation 1, där nivån för varje uppspelad sample (x_{rms}) beräknas som ett slags medelvärde av ett antal föregående samples (x_1, x_2, x_3, \dots). Ett RMS-värde ger en representativ fysisk signalnivå av som väl överensstämmer med upplevd signalnivå.

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}. \quad (1)$$

Även om A-vägningens lämplighet kan ifrågasättas, används den i analysen på grundval av dess status som en standard, och för att tillgänglig hårdvara och mjukvara, exempelvis dB-mätare, kan använda sig av vägningsmetoden.

En psykoakustisk följd av mänsklig ljudperception medför ett krav på nivå-matchning vid aural A/B-bedömning av snarlika ljudkällor (s.k. level-matched listening):

För att säkerställa en relevant lyssningsjämförelse av två ljudkällors (subjektiva) upplevda kvaliteter, t.ex i fråga om grad av skönhet eller störighet, bör bägge ljudkällorna bedömas i ljustet av en ekvivalent ljudnivå [6].

Det är även ett allmänt vedertaget fenomen inom praktisk ljudteknik, att vid en jämförelse av två identiska ljudkällors subjektivt positiva egenskaper, tenderar det starkare ljudet tillskrivas en mer förskönande beskrivning.

Detta fenomen bör beaktas under pågående analys.

2.4 Nivåreglering - Dynamic Range Control.

Dynamic Range Control (DRC) är ett samlingsbegrepp för olika metoder att påverka en signals dynamiska omfång så att den förtydligas eller bättre anpassas till ett annat system, med fördel utan signifikant förvrängning av originalsignalen. Med "dynamiskt omfång" avses skillnaden i ljudsignalens maximala och minimala ljudtryck uttryckt i dB.

DRC-enheter är vanligt förekommande i allt från ljudåtergivande konsumentprodukter till professionell ljudbehandling, oftast i form av kompressorer, limiters, expanders, och gate:ar. Den adaptiva nivåreglering som behandlas i denna rapport avser dynamisk expansion, och kan inbegripas i termen Dynamic Range Control.

Vad som gör en ljudprocessor *adaptiv*, är det faktum att det tidsföränderliga ljudet används för att styra regleringen i något avseende [7]. I sin enklaste form påverkar den adaptiva nivåregleringen ljudsignalens hela frekvensspektra unisont, så att regleringen i princip fungerar som en adaptiv volymkontroll. I många tillämpningar förekommer även flerbandsreglering, i vilken signalen delas upp i olika frekvensband som regleras individuellt.

2.4.1 Preventiv nivåreglering

Huvudmålet med regleringen är att göra signalen tydligare. För att optimera förutsättningarna för en lyckad reglering, kan flera åtgärder vidtas för att helt enkelt minska behovet av nivåregleringen. Faktorer som kan bidra till ett förtydligande av signalerna kan hittas genom hela den fysiska signalkedjan och de akustiska förutsättningarna i implementeringsmiljön.

Ett uppenbart exempel är designen och återgivningen av själva signalerna. Tydliga signaler i ett högupplöst ljudåtergivningssystem bidrar till optimerade förutsättningar för signalperception. I den aktuella implementationen har ljuddesign och återgivningskvalitet prioriterats, och behovet av reglering därmed indirekt minskats. Signalernas tydlighet har ytterligare förbättrats av nyttjandet av ett multihögtalarsystem, genom vilket olika signaler tilldelats fysiskt olika rumslig positionering.

Den aktiva nivåregleringen ska i praktiken öka signal/brusförhållandet när bruset blir så starkt att tydlig signalperception riskerar förloras, varför behovet av reglering naturligtvis minskar om bruset kan reduceras redan vid bruskillorna. Detta kan åstadkommas med hjälp av akustikreglering och andra passiva brusreducerande åtgärder.

2.5 Dynamisk expansion

Då nivåregleringen i tillämpningen endast ska öka (expandera) signalernas ljudnivå och aldrig sänka (komprimera) den, så kan regleringen reduceras till att endast omfatta dynamisk expansion.

En dynamisk expander är ett vanligt förekommande verktyg inom ljud- och signalbehandling, och dess grundläggande funktion är att göra en signal icke-linjär genom att signalens amplitud förstärks då signalen överskrider en bestämd amplitudnivå, enligt Fig. 5.

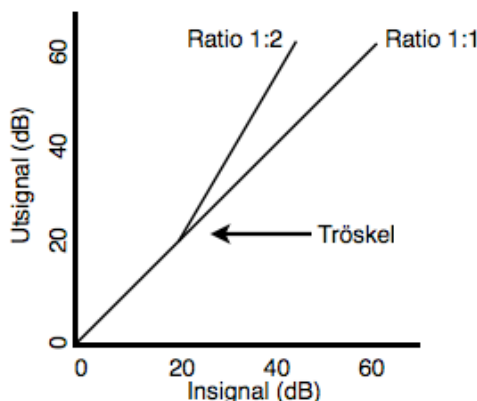


Fig. 5. Överföringskaraktäristik vid expansion

Fig. 6a visar ett övergripande flödesschema för en expander i sin normala tillämpning, i vilken regleringen av signalen baseras på signalens egna amplitudnivå. Genom att istället använda en separat källa för nivådetekteringen, enligt Fig. 6b, får man en expander med sk "side-chain"-funktionalitet. Genom att låta brus utgöra den nivådetekterade side-chain-signalen, kan en signalexpansion som anpassas efter rådande brusnivå erhållas.

En dynamisk expander kan designas i både fram- eller återkopplad arkitektur, men där den framkopplade varianten är fördelaktigare i tillämpningar med side-chain signal, och situationer där mycket snabba attacktider inte är av stor betydelse [8].

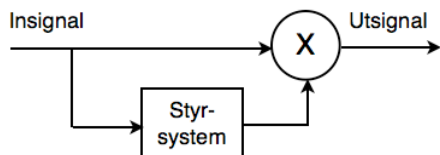


Fig. 6a. Flödesschema, expander

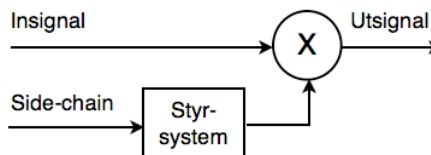


Fig. 6b. Flödesschema, expander med side-chain

Den dynamiska expanderns beteende är beroende av ett antal parametrar, vilka måste anpassas efter brus- och signalförhållandena för att erhålla en optimal reglering.

Vilka parametrar som ingår i en expander är inget som är exakt definierat, utan kan variera beroende på krav och önskad design.

Vanliga expansionsparametrar (illustrerade i Fig.7 och Fig.8.):

Typ av detektorsignal - Expansionen baseras oftast på den detekterade signalens toppvärde (peak) eller effektivvärde (RMS), beroende på tillämpning.

Tröskelvärde (dB) - Definierar vid vilken amplitudnivå regleringen aktiveras.

Ratio - Förhållandet mellan expanderad signalnivå och detekterad amplitudnivå (se Fig.5).

Attack (ms) - Hur snabbt regleringen når maximal expansion.

Release (ms) - Hur snabbt regleringen avtar efter att amplitudnivån fallit under tröskelvärdet.

Knee - Definierar expansionskaraktistiken i området kring tröskelvärdet, vilken kan tillåtas vara linjär eller olinjär, beroende på önskad "mjukhet" i övergången mellan reglerad och oreglerad signal. Ej att förväxlas med "knee-point" som förekommer i viss litteratur, och som är en annan benämning på tröskelvärde.

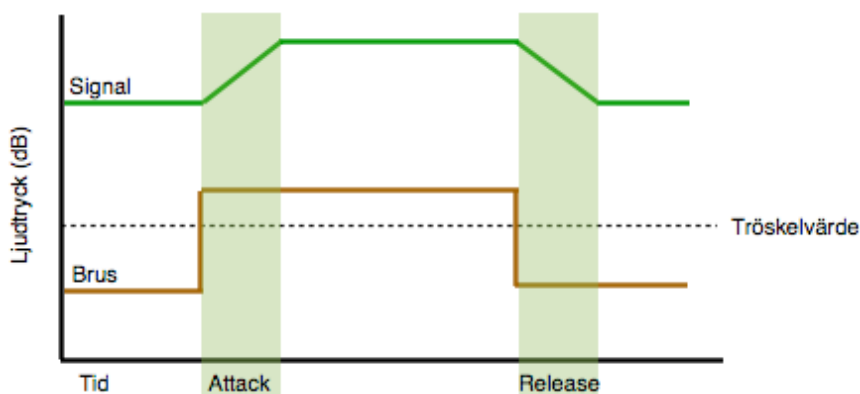


Fig. 7. Parametrarnas betydelse för signalexpansion

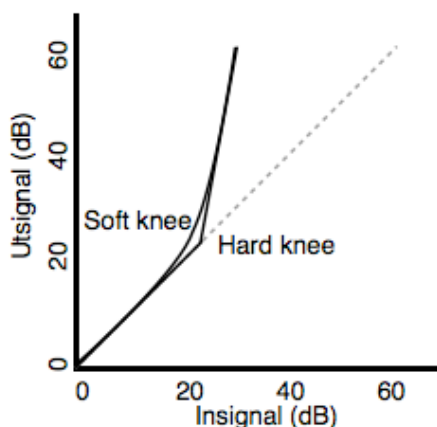


Fig.8. Skillnaden mellan Soft/Hard knee

3 Metod och resultat

3.1 Sampling analys av brus

För att undersöka hur och vad det tänkta nivåregleringssystemets brusdetektor registrerar i implementeringsmiljön, genomfördes en sampling av förekommande bruskällor. 2st omnidirektionella mikrofoner placerades enligt Fig 1, ca 15-20 cm ifrån taket. Vald mikrofon och mikrofonplacering är densamma som är tänkt att användas för brusnivådetekteringen i reglersystemets slutliga fasta installation.

Sammanlagt 18 systempåverkande och vanligt förekommande bruskällor samplades, och analysen av dem presenteras i Tabell 1.

Komplett data för vissa bruskällor saknas, p.g.a. svårigheter att isolera bruskällorna från övrig ljudmiljö (personal), under pågående arbetspass.

Samplingsutrustning:

Mikrofoner: Behringer B5.

Mikrofonförstärkare/ljudkort: Focusrite Saffire6.

Inspelningsprogram: Apple LogicPro, samplingsfrekvens 44.1kHz / 24bit.

Analysutrustning:

Mjukvara: Apple Logic Pro 9.1.7, Logic MultiMeter-plugin, DMGAudio Compassion

Hårdvara: MacMini, ljudkort Apogee Duet

Referenslyssning: AKG K 240, Tannoy Reveal Active

3.1.1 Bruskaraktärer

Av det samplade materialet framgår det att det finns två separata bruskaraktärer närvarande, vilka var för sig kommer påverka en eventuell nivåreglering på olika sätt: **Transient** och **kontinuerlig** bruskaraktär. Eftersom transienta ljudtryck enligt tidigare resonemang registreras mycket kraftigare av mikrofonmembranet än av det mänskliga örat, samt att regleringen konstrueras med hänsyn till mänsklig perception av ljud, kräver transienta bruskomponenter särskild hänsyn i regleringen.

Många bruskällor består av både transienta och kontinuerliga delkomponenter, och uppdelningen som görs i detta fall syftar till att understryka den tydligt dominerande karaktären i bruset.

Tabell 1. Översikt av bruskällor i implementeringsmiljön.

Bruskälla	Löptid	HöjningMic1 (dB)	HöjningMic2 (dB)	Omfång (Hz)	Peak (Hz)	Transient
Dörr1_inre	450 ms	na	0			x
Dörr1_yttre	550 ms	na	0			x
Sluss1 brusinsläpp	0-2s (uppskattat)	30	< 5	400-8k	1500	
Dörr2_inre	230 ms	20	15			x
Dörr2_yttre	340 ms	7-8	< 5			x
Dörr2, brus	0-2s (uppskattat)	10	3	200-5500	500 resonans 445	
Dörr3_inre	330 ms	0	0			x
Dörr3_yttre	450 ms	>70 (överslag)	>70 (överslag)			x
Dörr3 brus	1-4s (uppskattat)	25-30	30-35	550-7700	2000	
Vattenkran	1-10s (uppskattat)	0 (lite hiss)	9	1000-15000		
Ismaskin	1-2s	n/a	20	200-15000	n/a resonans 200	
Micro	30-500s (uppskattat)	0	2	500-8000		
Microbeep	5s (5st)	n/a	20	2000	2000	
Handdisk	15-60s (uppskattat)	n/a	15-20 (uppskattat)	500-20000		
Radio F-rum	0 - ∞	0 (dagtid)	0 (dagtid)			
Radio K-rum	0 - ∞	0 (dagtid)	0 (dagtid)			
WalkieTalkie K-rum		20-25	6	500-3500	1000	
Dialog matbord	n/a		10	250-5000		
Diskussion (uppskattat)	n/a	10-30	10-30 (uppskattat)	250-5000 (uppskattat)		

Ljudtrycksökningen avser nivåjämförelse med bakgrundsbruset, i lokalen uppmätt till ca 49dBA med dB-mätare.

Tabellförklaring:

HöjningMic1	Den ljudtryckshöjning som registreras av Mic 1 (i kontrollrum)
HöjningMic2	Den ljudtryckshöjning som registreras av Mic 2 (i fikarum)
Omfång	Bruskällans huvudsakliga frekvensomfång
Peak	Anger bruskällans dominerande frekvens, om sådan existerar
Transient	Indikerar transient bruskälla

3.2 Analys av signaler

Kortfattat kan man konstatera att signalerna är designade som en motsats till traditionella monotona industriella larmsignaler. Utmärkande för signalerna är att de består av en komplex och detaljerad struktur (i jämförelse med exempelvis enkla sinustoner), återgiven i en väldefinierad och högupplöst ljudanläggning. Ett typexempel på den dynamiska komplexiteten illustreras i Fig. 9.

Signalerna består strukturellt av en A- och en B-del (en signal har även en C-del), där de olika delarna är tydligt särskiljda, både i ljudtextur och frekvensomfång, se Fig. 10.

Med anledning av signalernas relativt stora dynamiska omfång, gjordes även en vägning av löptiden som indikerar den löptid som besitter ca 90% av signalens energi. Dynamiskt svaga partier, som in- och uttoningar bortses därmed, och vägningen belyser den del av signalen som är mindre benägen att maskeras av brus.

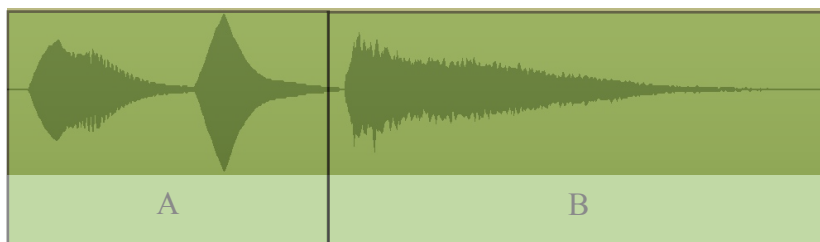


Fig. 9. Typisk signaluppbyggnad i en A- och B-del

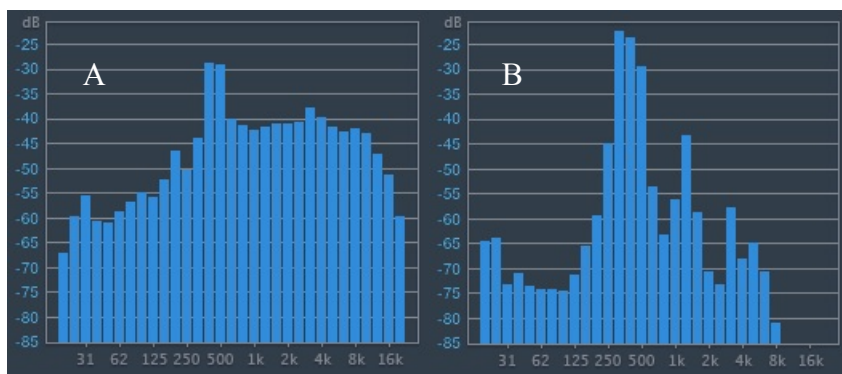


Fig. 10. Typexempel på A- och B-delarnas olika spektrala innehåll

Tabell 2. Översikt av larmsystemets signaler.

Larmsignal	Löptid (s)	Löptid90 (s)	Energiinnehåll A (Hz)	Energiinnehåll B (Hz)	Energiinnehåll C (Hz)
f1_n1	1.9	1.6	200-600	1k-5k	
f1_n2	1.3	1	200-600	1k-5k	
f2_n1	1.2	1.1	200-600	3k-15k	
f2_n2	0.6	0.5	200-600	3k-15k	
k1_n1	3.2	2.7	200-1500 dip800	200-16k	
k1_n2	2.5	1.8	250-1800 dip800	200-16k	
k2_n1	2.2	1.7	200-1500 dip800	500-16k	
k2_n2	1	0.5	300-16k	n/a	
k3_n1	2.5	2.1	200-1500 dip800	200-8k	
k3_n2	1.9	1.5	250-1800 dip800	200-8k	
motorstopp_3	3.9	2.8	200-1500 dip800	50-15k	
motorstopp_3b	3.9	2.8	200-1500 dip800	50-15k	
motorstopp_T_L2	2.5	2.3	200-2000	200-4k dip500	20-2k
t1_n1	2.4	1.2	200-1k	200-4k dip500	
t1_n2	1.7	1	200-800	200-4k dip500	
t2_n1	1.7	1.3	200-1k	20-8k dip400	
t2_n2	1.5	0.7	200-800	20-8k dip400	

Tabellförklaring:

Löptid	Signalens totala löptid.
Löptid90	Den löptid som innehåller ca 90% av signalens totala energi.
Energiinnehåll A/B/C	Dominerande frekvensband i respektive signaldel.

3.3 Simulering och experimentell undersökning av dynamisk expansion

För att få en uppfattning om hur olika parametrar påverkar den dynamiska expansionen i den aktuella implementeringsmiljön, gjordes en simulerad undersökning eftersom kontinuerlig fysisk tillgång till implementeringsmiljön saknas.

Eftersom de vanligaste bruskällorna samplats med de mikrofoner och de (ungefärliga) mikrofonpositioneringar som är tänkta att användas vid en eventuell reell implementering, kan en datorbaserad simuleringsmiljö konstrueras för experimentell analys.

Syftet med den experimentella undersökningen/simuleringen är, att ur ett generellt perspektiv få en övergripande förståelse för olika parametrars betydelse för dynamisk expansion för det aktuella fallet.

Lämpliga parameterinställningar rörande dynamisk påverkan av signaler bestäms vanligen genom gehör, och kan betraktas som något av en konstform i sig [9], vilket ytterligare motiverar en experimentell undersökning.

3.3.1 Simuleringsmiljö och analysverktyg

Mjukvara: Apple Logic Pro 9.1.7

Logic plugins: MultiMeter, Expander, MatchEQ, ParametricEQ, SpaceDesigner

Hårdvara: MacMini, ljudkort Apogee Duet

Referenslyssning: AKG K 240, Tannoy Reveal Active

För att på ett snabbt och enkelt sätt kunna analysera en stor mängd signaler, bruskällor och påverkande parametrar, konstruerades en analys- och testmiljö i ljudbehandlingsprogrammet Logic Pro.

Genom dess "expander"-plugin kunde den dynamiska expansionens parametrar och deras betydelse för aktuellt brus och aktuella signaler undersökas.

I mjukvaran routades olika samplade bruskällor och signaler enligt signalkedjan i Fig. 11.

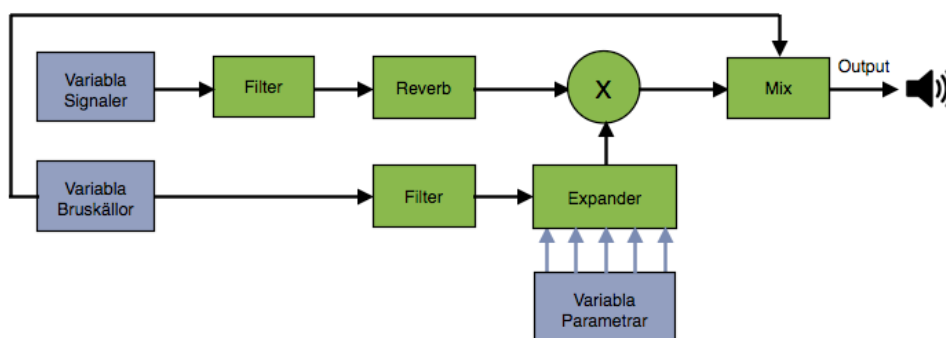


Fig.11. Signalrouting i testmiljön

Signalerna fanns inte tillgängliga med den filtrering som ges av högtalare, mikrofon och akustisk påverkan, utan endast som ljudfiler. För att ge signalerna en karaktär som på ett mer korrekt sätt efterliknar den som detektormikrofonerna skulle ha registrerat i den akustiska miljön, modifierades signalerna med filter och reverb. Modifieringen av signalerna verifierades genom gehör efter jämförelse med en samplad referenssignal med intakt akustisk filtrering.

Även bruskedjan försågs med ett filter för att undersöka olika filterinställningars betydelse för den dynamiska expansionen. Grafisk spektrum- och nivåanalys kunde genomföras vid alla tänkbara noder i kedjan.

3.4 Resultat av simulering och experimentell undersökning

3.4.1 Akustisk påverkan

Av analysen framgår det att signalerna som registreras av mikrofonerna särskiljer sig kraftigt i frekvensspektrum och upplevd karaktär, jämfört med de signaler som är opåverkade av den naturliga filtrering som ges av högtalare, akustik, och mikrofonkaraktäristik. Filtringen är inte heller identisk för de två registrerande mikrofonerna. Skillnaderna är störst för låga frekvenser, men resonanta frekvensområden finns även i mellanregistret. Höga frekvenser är generellt något dämpade.

Akustiska förhållanden och mikrofonplacering spelar en betydande roll i hur det detekterade bruset kommer att uppfattas av expandern. Påståendet grundas på det faktum att högtalarna är identiska och bedöms återge ljud med god återgivningskvalitet, tillsammans med den observerade avvikelserna i de identiska mikrofonernas upptagning.

3.4.2 Bruspåverkan

Transient och statiskt brus saknar i egentlig mening betydelse för regleringen av signalerna.

Det transienta bruset, orsakas primärt av de dörrar som leder till och från lokalen, uppkommer relativt sällan, och har en så kort löptid (ca 200-500ms) jämfört med signalerna att det inte påverkar perceptionen av signalerna på sådant sätt att det behöver åtgärdas genom adaptiv nivåreglering. För att åstadkomma en jämn och behaglig generell nivåreglering bör transient brus snarare döljas från detektion, och därmed i bästa mån hindras från att påverka nivåregleringen. Det transienta bruset maskerar förvisso signalen, men denna ringa maskering kan, om det anses nödvändigt, bäst regleras med passiva metoder.

Det statistiska bruset utgörs av det bakgrundsbrum som konstant finns i lokalen, och brummets eventuella påverkan för signalperception regleras lämpligen, just för att det är konstant, inte adaptivt, utan genom justering av signalernas huvudvolymkontroll. Det finns heller ingen egentlig praktisk nytta med att låta brummet påverka den adaptiva nivåregleringen, eftersom det statistiska brummets frekvensinnehåll nästan uteslutande finns i frekvensområdet under 300Hz, medan signalernas frekvensinnehåll nästan helt existerar i frekvensområdet över 300Hz.

Då signaler och bakgrundsbrum inte existerar inom samma frekvensomfång, utgör inte bakgrundsbrummet någon påtaglig perceptionell maskering av signalerna, och det behöver därmed inte nödvändigtvis detekteras eller utgöra grund för adaptiv reglering, ens ifall moderata fluktuationer i brummets nivå skulle förekomma.

Genom att högpasfiltrera expanderns brusnivådetektion vid 300Hz med 32dB/oktav, kan det statistiska och kraftiga brummet i lokalen i princip helt frånkopplas expandern, samtidigt som de icke-konstanta brusällor som expandern *skall* reagera på, fortfarande tydligt detekteras.

Förutom bakgrundsbrummet har inga andra påverkande brusällor någon nämnvärd energi i området under 300Hz, varför frekvensinnehållet kan filtreras bort för att ge expandern en "renare" detektering, så att regleringen inte påverkas av eventuella nivåförändringar i det statistiska brummet.

3.4.3 Parametrar i expander

Detektionstyp

Ett RMS-värde, som förenklat är en form av medelvärde, ger en rättvisare indikation av upplevd ljudnivå än vad ett toppvärde ger [10], och i testmiljön förmår inte heller detektion baserat på toppvärden ge en upplevt följsam och mjuk signalreglering med det aktuella ljudmaterialet. En RMS-baserad detektering lyckas klart dämpa, och i vissa fall delvis frånkopplas regleringseffekten orsakad av transienta förlopp i det detekterade bruset. I praktiken är RMS-värdet ca 15-20dB lägre än peakvärdet för de starkaste transienta brusällorna, antaget någorlunda "normala" expanderinställningar.

Det bör poängteras att regleringen kan variera beroende på vilken algoritm som nyttjats i RMS-detekteringen, och undersökningen snarare belyser peak-detektionens olämplighet, än exakthet i RMS-detektionens beteende. Hur framgångsrikt RMS-detekteringen lyckas neutralisera effekten av transienta förlopp, beror på den medelvärdesbildande tidsperiod som RMS-värdet baseras på.

Tröskelvärde och ratio

Möjligheten att ge direkta rekommendationer för lämpliga parametervärden för tröskelnivå och ratio försvåras av att default-ljudnivån för signalernas uppspelning i den fysiska lokalen är okänd, och

därmed även signal/brusförhållandet för systemet. Vad som är en lämplig ljudnivå, både för reglerad som oreglerad signal, beror snarast på personalens preferenser och de krav som verksamheten ställer på signalperception.

Med anledning av detta ges inte heller någon exaktare precisering av lämpliga parametervärden. Det kan ändå konstateras att den subjektivt mest tilltalande regleringen erhöles med låga ratio-värden (mindre än 1:2), tillsammans med tröskelvärden inställda så att mindre höjningar i brusnivån inte medförde någon reglerande effekt alls.

Som en grov uppskattning på lämplig signalnivå i PA-system, rekommenderas en upplevd signalnivå som är dubbelt så stor som den upplevda nivån i bruset, dvs ca 10dB [11].

Emedan man kan argumentera för att exemplet inte är direkt översättbart till det aktuella fallet, användes siffran som en utgångspunkt med gott resultat.

Noterbart är även att en viss önskad signalnivå vid en specifik brusnivå kan uppnås genom olika parameterinställningar (se Fig.12), vilket delvis illustrerar problematiken i ambitionen att finna generella parametervärden för en komplex ljudmiljö.

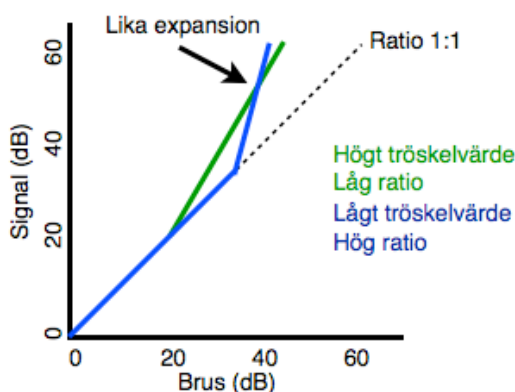


Fig. 12. Olika inställningar ger ibland lika resultat

Attack/release

En bugg i den expander-plugin som användes vid undersökningen förhindrade RMS-detektion i kombination med andra attacktider än noll. Av det kan ändå observeras att expandern med RMS-detektering och noll attacktid inte lyckas åstadkomma en helt följsam reglering av transienta förlopp i brusmaterialiet, men att betydelsen av denna observation kan ifrågasättas, då det inte är känt hur den specifika expanderns RMS-detektering är konstruerad, och en annan "averaging time" i expanderdesignen skulle kunna ge ett annat resultat.

I undersökningen om attack- och releasetiders betydelse för expansion användes istället en expander av annan modell och fabrikat (DMGAudio Compassion). Från testerna framgår det att det finns ett stort spann inom vilket man kan finna lämpliga tidsinställningar för väl fungerande reglering. Exaktare

rekommendationer är svåra att ge, då tidernas betydelse för expansionens karaktär och kvalitet även beror på hur övriga parametrar i expandern är inställda.

Vagt uttryckt fungerar långa attack- och releasetider väl för att uppnå en jämn dynamisk expansion som tar hänsyn till den övergripande generella brusnivån, snarare än tillfälliga höjningar av densamma.

Knee

Med de låga ration som är aktuella för rekommendation, bedöms effekten av en eventuell soft-knee karakteristik i övergången mellan reglerad och oreglerad signal, medföra en så subtil skillnad att knee parametern i princip kan utelämnas vid en eventuell realisering. Genom utelämnandet opererar expandern i praktiken med en hard-knee karakteristik.

De negativa effekterna av en hard-knee reglering framträder konkret först vid tillämpningar med högre ration, och eventuella hörbara artefakter med anledning av hard-knee karakteristik maskeras även ytterligare av längre attack/release-tider.

3.5 Systemets egenpåverkan

Ett potentiellt problem med reglersystemet är det faktum att signalerna som ska regleras själva påverkar den detektor som styr regleringen. Ljudsignalen från högtalaren registreras oundvikligen av den brusdetekterande mikrofonen, enligt flödesschemat i Fig. 13.

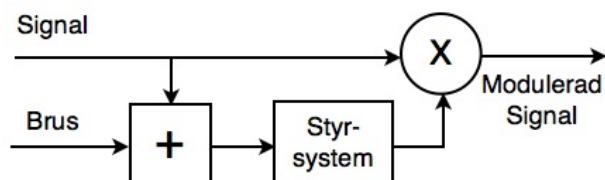


Fig. 13. Signalernas påverkan på reglersystemet

Ett antal metoder för att eliminera eller reducera problemet har identifierats:

3.5.1 Bypass med Sample and Hold

Under uppspelning av signal, fränkopplas helt enkelt detektorfunktionen under uppspelningstiden. Regleringen antar detektionsvärdet som föregår signalåtergivningen och behåller det under signalens löptid. Systemet beter sig i praktiken enligt principen för "Sample and Hold".

Då den genomsnittliga löptiden för signalerna är 2.0 sekunder, är det mycket möjligt att en bypassfunktion kan utgöra en fullgod lösning. Metodens lämplighet beror dock på i vilken omfattning larmsignaler kommer att spelas upp. Då systemet är monofoniskt, kan en eventuell köbildning av signaler i praktiken medföra att detekteringen fränkopplas under en tid som motsvarar flera signalers löptid, vilket i sin tur skulle kunna påverka regleringens kvalitet dramatiskt.

3.5.2 Inverting Gain Computer

En möjlig lösningsmetod är att förse systemet med en Inverting Gain Computer (IGC), enligt flödesschemat i Fig. 14.

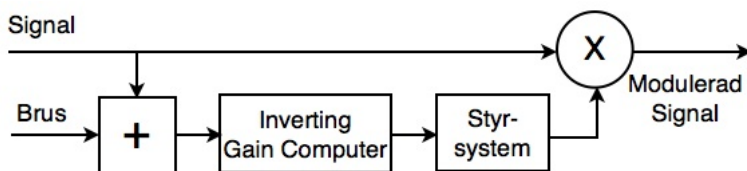


Fig. 14. Möjlig lösningsmetod med IGC

I teorin neutraliseras effekten av signalens påverkan på regleringen, genom att brusdetektionen kompletteras med en invers av motsvarande påverkan, se Fig. 15a. IGC:n utgår från förprogrammerad nivåinformation om varje signal.

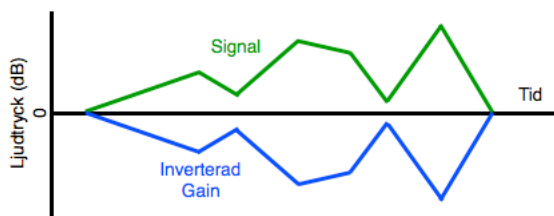


Fig. 15a. Princip för neutralisering av signalpåverkan

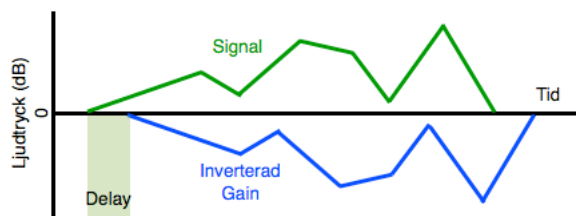


Fig. 15b. Tidsförskjutning för faskorrekt neutralisering

För att IGC:n ska kunna manipulera gainen korrekt, måste den timas för operation i rätt tidpunkt. Det tar en viss tid för signalerna att färdas genom luften, vilket i praktiken innebär att en tidsförskjutning mellan signalen och dess motsvarande invers måste införas för att uppnå faskorrekt reglering, exemplifierad i Fig. 15b.

En enklare IGC-implementering förutsätter därmed i praktiken en fast installation av högtalare och detektormikrofon, så att tidsförskjutningen kan hålls konstant, även om det teoretiskt är möjligt att behandla variabla delaytider i en icke-fast installation, med hjälp av exempelvis kontinuerliga mätningar av avstånd och utbredningsvinklar [12].

Eftersom larmsignalerna som ljuder i kontrollrummet är dedikerade till specifika högtalare, vilka i sin tur befinner sig på olika avstånd från detektormikrofonen, kräver varje högtalare en unik delaytid (förutsatt att alla högtalare har ett unikt avstånd till detektormikrofonen). I köksutrymmet summeras samtliga signaler till en och samma högtalare, vilken därmed endast behöver en enda delaytid i signalkedjan.

En IGC baserad på inversen av signalerna tar dock inte hänsyn till den filtrering som signalerna utsätts för av signalåtergivningssystemet och akustiken i lokalen. Signalerna kan mycket väl filtreras akustiskt, genom exempelvis rumsresonanser, så att klara avvikelser mellan signal och inverssignal uppstår. Avvikelsen kan dock undvikas genom att låta IGC:n basera sin förprogrammerade nivåjusteringsinformation på signaler samplade med detektormikrofonerna placerade i installationsposition i den aktuella akustiska miljön, istället för att utgå från signalens rena och ofiltrerade ljudfil.

En lösningsmetod med IGC lämpar sig därför bäst för små utrymmen med fast installerad utrustning, där akustisk påverkan är minimal.

3.5 Översiktlig Realiseringsmetod för dynamisk expander

Den framkopplade expander-arkitekturens styrsystem (se Fig. 6b) består i praktiken av två delmoduler, där en detektormodul bestämmer den dynamiska karaktären, dvs på vilket sätt expansionen beror på detektorsignalens variationer i nivå. Parametrar som påverkar detektormodulen är attack och release, samt vald metod för nivådetektering (exempelvis peak, RMS, en kombination av de båda, eller någon annan form av genomsnittsvärde). En Gain Computer(GC)-modul utför själva gain-manipulationen, och påverkas av parametrarna tröskelvärde och ratio [8].

En realiseringsmetod av en generell Dynamic Range Control-enhet med RMS-detektion demonstreras av McNally [10] , vilken kan modifieras för anpassning till aktuellt fall, enligt Fig. 16.

Signalkedjan förses med ett delay för att kompensera för den processtid som uppkommer till följd av operationerna i RMS- och GC-modulerna.

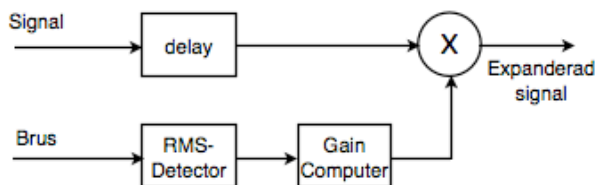


Fig. 16. Moduluppbyggnad av dynamisk expander

RMS-detektor-modul

Fig. 17 visar hur ett första ordningens filtersektion kan ge ett genomsnittsvärde av insignalen. Den första operationen gör insignalen exponentiell, och de sista ger en kvadratrotsfunktion för att erhålla en icke-exponentiell utsignal, som kan användas för en direkt dB-jämförelse med tröskelvärdet i GC-modulen. Parametern TAV är den “averaging time” som bestämmer tidsspännet för genereringen av genomsnittsvärdet, och fungerar i praktiken som en gemensam attack/release-parameter för RMS-modulen.

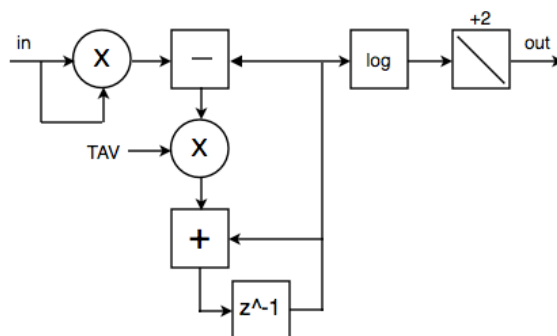


Fig. 17 Blockschema RMS-modul

Gain computer-modul

Fig. 18 visar hur signalen från RMS-detektorn direkt kan jämföras med önskat tröskelvärde(LT), uttryckt i dB. Om tröskelvärdet inte överskrids erhålls värdet noll, som efter anti-log-operationen ger en utsignal från GC-modulen som är lika med 1, vilket i praktiken kommer att resultera i en opåverkad utsignal ur expandern.

Om tröskelvärdet överskrids multipliceras detektorsignalen med önskad expansionsratio.

Ration uttrycks lämpligen i bråkform enligt $LS = 1 - 1/\text{ratio}$.

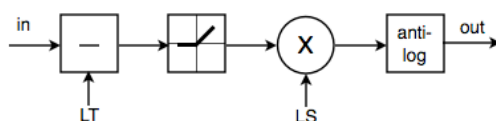


Fig. 18. Blockschema Gain Computer-modul

En kompletterande realiseringsmetod av en dynamisk processor demonstreras även av Zölzer [13].

4 Diskussion

Ett grundläggande problem finns i bedömningen av regleringens kvalitet. Kvaliteten är beroende av hur ett stort antal individer uppfattar den totala ljudmiljön av vilken de reglerade signalerna är en del av. En bra reglering är en kompromiss som fungerar generellt, något som kan vara svårt att uppnå med de stora ålderskillnader som finns i exponeringspopulationen.

Den naturliga hörselnedsättning som uppstår med stigande ålder (presbycusis), och som är oberoende av eventuell historisk bullerexponering, indikerar att skillnaderna i aural perception kan vara mycket stora. I frekvensområdet kring 4kHz kan skillnaderna mycket väl överstiga 40dB [1].

Området kring 4 kHz är ett mycket signifikant frekvensband för systemet, dels för att signalerna har en signifikant energimängd i området, och dels för att vissa signaler är designade som partiella kopior, med en identisk A-del och en divergerande B-del, där B-delen har en energicentrering kring 4kHz (exemplifierat i Fig. 9 och Fig. 10). Det kan möjligen innebära en ökad risk att individer kan förväxla olika larmsignaler p.g.a. hörselnedsättning i det informationbärande frekvensområdet som särskiljer larmsignalerna från varandra.

Tillgänglig relevant akademisk litteratur rörande dynamiska processorer är mycket begränsad [14], och formell kunskap och dokumenterad analys av design av dynamiska processorer för ljudtillämpningar är likaledes begränsad, och är i ett akademiskt avseende något av ett outforskat område [15].

Avsaknaden skulle mycket väl kunna bero den komplexitet och framförallt subjektivitet som reglering ämnad för mänsklig perception medför. Vad som möjligen stöder påståendet är det faktum att det finns god tillgång på akademisk litteratur för besläktade tillämpningar, exempelvis signalreglering för hörapparater, och andra system med mindre komplexitet i regleringspåverkande variabler. En installation i ett akustiskt påverkande rum, med flertal signalkällor i en tredimensionell miljö, som ska designas efter flera individers perception av signalerna, är mycket mer komplex än den monaurala anekoiska installation i hörselgången, som en hörapparat förutsätter.

Dynamiska processorer är mycket vanligt förekommande i konsumentprodukter, och varför det råder brist på akademisk dokumentation om ren konstruktionsdesign för dynamisk ljudreglering, kan förefalla anmärkningsvärt.

Inställningen av regleringens parametrar ses mer som en konst än en vetenskap, och detsamma tycks gälla för själva designen av regleringskonstruktionen. Olika designval ger regleringen en "karaktär", vars lämplighet beror på rådande situationer, förutsättningar, och i högsta grad godtycklighet och subjektiv estetisk bedömning. Eller som Roey Izhaki uttrycker det i sin bok "Mixing audio" i avsnittet om dynamiska processorer: "No two compressors sound alike.../...each compressor is inaccurate in it's own unique way" [16].

Olikheter i konstruktionsdesignen av dynamiska processorer medför även att rekommendationer om praktiska parameterinställningar tappar betydelse, när parametrarnas mekanik, algoritmer och beteende kan variera mellan olika konstruktioner.

En lyckad nivåreglering är till stor del beroende på reglersystemets transientrespons, och det enklaste sättet att optimera förutsättningarna för en lyckad aktiv nivåreglering, är att passivt reducera transienta bruskillors inverkan. Passiv akustisk reglering av lokalens smällande dörrar kan enkelt utföras utan några egentliga ekonomiska kostnader, och ger klart gynnsammare förutsättningar för en bra nivåreglering.

Förbättringspotentialen gäller i synnerhet dörr 3 (se Fig. 1), som avger en väldigt stark transient, och som dessutom är placerad i närheten av den ena brusdetektorn. Även stolarna i köksutrymmet observerades vid användning skapa höga ljudtryck av transient karaktär, p.g.a. golvfriktion och närhet till detektormikrofon. De passiva åtgärderna innebär inte nödvändigtvis att transientresponsen behöver mindre hänsyn i designen, men att transienternas negativa effekter på regleringen minskas.

För att bestämma hur man vill lösa problemet med systemets egenpåverkan av regleringen, bör man närmare studera signalernas triggingsfrekvens och eventuell köbildning av signaler i systemet. Kunskap om hur snabbt och i vilken omfattning signaler spelas upp i en direkt följd efter varandra är av betydande vikt i valet av lösningsmetod.

Den tillämpade samplingsbaserade analysmetodens lämplighet kan ifrågasättas.

Möjligen ger samplingen en adekvat bild av det brus som systemet kommer att registrera, men eftersom mikrofonplaceringen i en eventuell implementation inte nödvändigtvis kommer vara den exakt samma, kan ljudupptagningskillnader p.g.a. oberäknelig akustisk påverkan inte uteslutas. Vidare står det klart att man bör vara mycket försiktig med att dra absoluta paralleller mellan det samplade ljudet och vad man faktiskt upplever i den verkliga ljudmiljön, vilket i sin tur bl.a. försvårar utvärderingen av nivåregleringens faktiska behov och beteende.

5 Slutsatser

Det finns väldigt lite relevant vetenskaplig litteratur om dynamisk reglering av ljudsignaler, både beträffande teoretisk konstruktionsdesign liksom praktisk implementering.

I ljudmiljön finns transienta brusällor som med fördel regleras med passiva metoder, för att optimera möjligheterna för en transparent och behaglig reglering.

Det statiska bakgrundsbruset är i princip irrelevant för regleringsbehovet eftersom det i jämförelse med signalerna består av tydligt separerat frekvensinnehåll. Det statiska bakgrundsbruset kan, tillsammans med övrigt brus i samma frekvensomfång, filtreras bort med ett brant högpassfilter vid 300Hz, så att det i praktiken inte påverkar regleringen.

Mikrofonplacering, akustisk påverkan, ljudåtergivningssystem liksom anatomiska och psykoakustiska faktorer medför klara skillnader i upplevelsen av ljudmiljön när man fysiskt befinner sig i den, jämfört med upplevelsen av en samplad version av densamma.

Detta medför att samplingsbaserad analys av ljudmiljö, dynamisk expansion och parameterinställningar blir svårt och osäkert.

Optimala parameterinställningar bestäms med fördel efter gehör, fysiskt närvarande i implementeringsmiljön.

Signalernas oönskade benägenhet att själva påverka regleringen kan möjligen åtgärdas genom tillfällig bypass av detektion, förutsatt att antalet signaler som spelas upp i en direkt följd, inte är för stort.

Alternativt kan problemet åtgärdas med en Inverting Gain Computer.

Regleringens detektering bör baseras på ett RMS-värde av bruset.

En mjuk och följsam reglering uppnås lättast med låga expansionsration och höga tröskelvärden.

Ett stort spann finns i lämpliga attack- och releasetider, och exaktare bestämning av expanderens parametervärden försvåras av att en parameters optimala inställning kan bero på hur övriga parametrar är inställda och konstruerade.

6 Referenser

- [1] F. B. Randall, *Industrial noise control and acoustics*, New York: Marcel Dekker Inc, 2003.
- [2] ISO 226:2003, *Normal Equal-Loudness-Level Contours*, 2003
- [3] J. Chalupper, “Calculation of Loudness for Normal and Hearing Impaired Listeners”. In D. Havelock, S. Kuwano & M Vorländer (Eds.), *Handbook of Signal processing in acoustics voll* New York: Springer Science +Business Media, 2008, pp. 252-254.
- [4] H. Fletcher & W.A. Munson, “Loudness, its definition, measurement and calculation”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 5,1933. pp. 82-108
- [5] H. Tomlinson & F. Kampmann, “Loudness Compensation: Use and Abuse”, *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 26, issue 7/8, Aug 1978, pp. 526-536.
- [6] P. S. Lipshitz “The Great Debate: Subjective Evaluation”, *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 29, issue 7/8, Aug 1981, pp. 482-491.
- [7] V. Verfaillie, U. Zölzer & D.Arfib, “Adaptive Digital Audio Effects (A-DAFx): A New Class of Sound Transformations”. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, Vol. 14(5), Sept. 2006, pp. 1817-1831.
- [8] J. S. Abel & D. P. Berners, “On Peak- Detecting and RMS Feedback and Feedforward Compressors”, presented at the Audio Engineering Society 115th Convention, Oct 2003, Paper 5914.
- [9] F. Floru, “Attack and Release Time Constants in RMS-Based Compressors and Limiters” (Unedited preprint), presented at the Audio Engineering Society 99th Convention, Oct 1995, Paper 4054.
- [10] G. W. McNally, “Dynamic Range Control of Digital Audio Signals”, *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 32, issue 5, May 1984, pp. 316-327.
- [11] J. F. Krebber, “PA Systems for Indoor and Outdoor”. In D. Havelock, S. Kuwano & M Vorländer (Eds.), *Handbook of Signal processing in acoustics voll* New York: Springer Science +Business Media, 2008, pp. 252-254.
- [12] W. Etter, “Distance-Based Automatic Gain Control with Continuous Proximity-Effect Compensation” (Peer-reviewed convention paper), presented at the Audio Engineering Society 133th Convention, Oct 2012, Paper 8786
- [13] U. Zölzer, *Digital Audio Signal Processing 2nd Ed.*, Chichester: Wiley, 2008, ch7.
- [14] U. Simmer, D. Schmidt & J. Bitzer “Parameter Estimation of Dynamic Range Compressors: Models, Procedures and Test Signals”, (Unedited preprint), presented at the Audio Engineering Society 120th Convention, May 2006, Paper 6849.
- [15] D. Giannoulis, M. Massberg & J. D. Reiss, “Digital Dynamic Range Compressor Design— A Tutorial and Analysis”, *Journal of Audio Engineering Society*, vol. 60, issue 6, June 2011, pp. 399-408.

- [16] Roey Izhaki, *Mixing Audio: Concepts, Theory and Practice*, Oxford: Focal Press, 2007, pp. 273-274