

Széchenyi István Egyetem
Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar
Informatika Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

SZAKDOLGOZAT

Digitális audio - Dante protokollra épülő
hangrendszer tervezése, építése,
optimalizálása, beüzemelése

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

FELADATKIÍRÁS

A feladatkiíró lapot két példányban kell leadni a tanszéki adminisztrációban. Beadás előtt az egyiket visszkapod és a leadott munkába eredeti, tanszéki pecséttel ellátott és a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni (ezen oldal *helyett*, ez az oldal csak útmutatás).

Nyilatkozat

Alulírott, **Székely Dániel (JAXC3C)**, Mérnökinformatikus BSc szakos hallgató kijelentem, hogy a *Digitális audio - Dante protokollra épülő hangrendszer tervezése, építése, optimalizálása, beüzemelése* című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

Győr, 2024. január 9.

Székely Dániel
hallgató

Kivonat

Szakdolgozatomban egy olyan digitális hangtechnikai rendszer tervezését és megvalósítását mutatom be, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a hangsúlyt. Be fogom mutatni a rendszer tervezésének lépéseit, a különböző protokollok közötti választást, a rendszer felépítését, és a rendszer működését.

Abstract

This document is a \LaTeX -based skeleton for BSc/MSc theses based on the official template developed and maintained at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The goal of this skeleton is to guide and help students that wish to use \LaTeX for their work at Széchenyi István Egyetem Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar. It has been tested with the *TeXLive* \TeX implementation, and it requires the PDF- \LaTeX compiler.

Many thanks to the Fault Tolerant Systems Research Group who maintain the repository this template is based on: <https://github.com/FTSRG/thesis-template-latex>

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
1.1. A kezdetek	2
1.1.1. Téma választás	2
2. Audio over IP rendszerek bemutatása	4
2.1. Bevezetés az Audio over IP világába	4
2.1.1. Előnyök és hátrányok	5
2.1.2. Fázishelyesség	6
2.1.3. Szinkronizáció	7
2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység	9
2.1.5. Késleltetés	9
2.1.6. IP címek és maszkok	9
2.1.7. Hálózati topológiák	11
2.1.8. Unicast és Multicast	11
2.1.9. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés	13
2.1.10. Redundancia	13
2.2. AES67	14
2.3. Audinate Dante	15
2.3.1. A Dante hálózatok áttekintése	15
2.3.2. Összehasonlítás a hagyományos hangrendszerekkel	16
2.3.3. Dante hálózatok technikai részletei	17
2.3.4. Rugalmasság és skálázhatóság	18
3. Rendszertervezés és telepítés elő környezetben	20
3.1. Követelmények	20
3.2. Rendszerterv	20
3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer	21
3.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [1]	21
3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [5]	30
3.2.1.3. Mélyláda rendszer	30
3.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer	31
3.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer	32
3.2.4. Dante audio szerver	32
3.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	32
3.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix	32
3.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet	32
3.2.5.3. IP kiosztás	33
3.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet	33
3.3. Rendszermérések és monitorozás	34
3.3.1. Dante rendszer monitorozása	34
3.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet	34

3.3.1.2. Dante Controller: Események nézet	34
3.3.2. Cardioid mélyláda rendszer mérése	34
3.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség	34
3.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése	34
4. Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	35
4.1. További eszközök integrálása	35
4.2. Bővítés nagyobb interfészre	35
Köszönetnyilvánítás	36
Ábrák jegyzéke	37
Irodalomjegyzék	37
Függelék	39

1. fejezet

Bevezetés

1.1. A kezdetek

Kisgyermek koromtól kezdve érdekelnek a hangtechnikához fűződő eszközök és azok elméleti-gyakorlati működése. Első élményeim egyike közé tartozik az, amikor szüleim egy új fajta rádiólejátszót vásároltak otthonra, amelyen már nem csak a rádióadásokat lehetett hallgatni, hanem lejátszhatóak voltak kazetták is. A készüléket akkoriban jobban tudtam kezelni gyermekként, mint a szüleim, egyértelmű volt már akkoriban is, a technika és a zene iránti érdeklődésem. Ezek után általános iskolában a fizika tanárral együtt kezdük el a sulirádió működtetését, amelynek a telepítési részében is részt vettem, mivel azelőtt csak egyszerű csengők voltak felszerelve az épületben. Szükség volt hangsugárzókra, erősítőkre, mikrofonokra, és egyéb kiegészítőkre. A rádió működtetése is az én feladatom lett két másik barátommal együtt, az iskolával kapcsolatos híreket és információkat mondtuk be rövid szünetekben, a hosszabb szünetekben pedig zenét játszottunk. Mindeközben zeneiskolába is beiratkoztam, ahol ütőhangszeresként tanultam egészen egyetemi tanulmányaim kezdetéig. A több mint tíz év alatt, sok új ismeretet és tapasztalatot szereztem, amit a későbbiekben mint zenész, mint hangosító tudtam hasznosítani. Megismerkedtem a különböző zenei stílusok egyedi hangzásvilágával, ami a későbbiekben a hangosításban is nagy segítségemre volt. Középiskolai tanulmányaim alatt kezdtem el komolyabban foglalkozni a hangtechnika világával komolyabb szinten. A fizika tanárral ugyanis korábban nem csak a sulirádiót működtettük, hanem az összes sulibulit és rendezvényt a faluban mi szolgáltuk ki technikailag. Ezért mivel már középiskolába jártam, a későbbiekben egy feltörekvő fiatalos és modern gondolkodású magánvállalkozáshoz ajánlott be engem, mivel a fiatal és motivált munkaerőt kerestek. (TéDé Rendezvények) Már az első munkalehetőség-nél éreztem, hogy ez egy nagyon jó lehetőség számomra, mindenképpen szeretnék ebben a szakmában dolgozni. A cég fő profilja a hangrendszerek kiépítése és üzemeltetése volt, de későbbiekben már a fénytechnikával és színpadtechnikával is el kezdtünk foglalkozni. Ettől kezdve kezdtem el aktívan dolgozni a rendezvényiparban a hangrendszerek világában. Az évek során egyre több tapasztalatot szereztem. Évente több mint száz rendezvényen tudtam folyamatosan fejlődni, rutint és ismerettséget szerezni a szakmában.

1.1.1. Téma választás

A hangrendszerek világa az elmúlt években nagy változáson ment keresztül. A digitális technika térhódítása a hangtechnikában is megjelent, és egyre több fajta megoldás jelent meg a piacon. A digitális fejlesztésekből mi sem szerettünk volna kimaradni, hogy hangtechnikai apparátusunk korszerű és versenyképes maradjon. Ekkor jött a fejlesztési ötlet, egy olyan rendszert tervezni, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a jelenlegi hibrid megoldásunkat. A cégvezetőtől azt a feladatot kaptam, hogy tervezzek egy

olyan rendszert, amely megoldja a jelenlegi hibrid rendszerünk teljes digitális megoldásra való cseréjét. Az alapvető szempontok közé tartozott, hogy a rendszer legyen könnyen skálázható, és bővíthető, valamint a jelenlegi rendszert minden tekintetben felülmúlja. Első lépésben a különböző Audio over IP protokollok közül kellett választanom, amely a leginkább megfelel a rendszerünk igényeinek. Ehhez a piacon lévő protokollokat kellett megvizsgálnom, és a legjobb megoldást választani.

2. fejezet

Audio over IP rendszerek bemutatása

2.1. Bevezetés az Audio over IP világába

A 90-es évek vége óta a szakmai hangipar elmozdult a pont-pont digitális átviteli formátumoktól (például AES/EBU vagy MADI) az IP-alapú szabványok felé (például AES67). Ez a csomag alapú hálózati megoldás hatalmas rugalmasságot hozott, valamint kibővített vezérlési és monitorozási képességeket biztosított hangrendszerek számára. Lehetőséget teremt arra, hogy egy fizikailag rögzített telepítés későbbi szoftverkonfigurációval és frissítésekkel alkalmazkodóvá és bővíthetővé váljon. A jelutak már nem kötődnek fizikai kábel-ekhez, hanem bármikor egérváltással megváltoztathatók anélkül, hogy szükség lenne dedikált audio útválasztó hardverre. A csomagorientált átvitel természetéből adódik, hogy az audiojelek automatikusan eljutnak a kívánt helyre az IT hálózaton keresztül. A Cirrus Logic által 1996-ban bevezetett CobraNetet általában az első sikeres audio-over-ethernet hálózat-implementációnak tekintik, és számos audio telepítés alapját képezi, mint például kongresszusi központok, színházak, koncerttermek, repülőterek és vidámparkok. Bár ma is sok CobraNet telepítés létezik, magas késleltetési problémák és korlátozott mérethatékonyság miatt nem ideális élő hang, stúdiófelvételek és sugárzási létesítmények számára. A mintegy tíz évvel később bevezetett ausztrál Audinate cég által kifejlesztett Dante a Digital Audio Network Through Ethernet' rövidítése. Dante több jelentős előnnyel rendelkezik az első generációs audio-over-IP technológiákhoz képest, beleértve a jobb használhatóságot és a magasabb kompatibilitást a szabványos hálózati infrastruktúrával. Dante egy hatalmas felszerelési ökoszisztémából profitál, több száz gyártó által gyártott ezernél is több eszközzel. Mielőtt a Dante elérte volna jelenlegi domináns pozícióját, nagy várakozás volt egy AVB (Audio Video Bridging) nevű technológia körül, mivel erős természete és az AVB-képes hálózati hardverek magas szintű automatikus konfigurációja miatt. Más iparágak, például az autóipar és az ipari automatizálás, átvették az AVB-t, és általánosabb nevet adtak neki, mivel az már nem csak audioés videóalkalmazásokhoz kapcsolódik: az AVB-t a keresztipari gyártók fejlesztőcsoportja, az AVnu Alliance [2] időérzékeny hálózat (TSN) néven nevezte el. Később a Milan munkacsoport, egy audio/video gyártókból álló konzorcium, úgy döntött, hogy kidolgoz egy finomhangolt specifikációt a profi audio/video rendszerekben való használatra, Milan néven. Ez egy specifikus TSN verzió, amely az audio/video szolgáltatók közötti interoperabilitásra összpontosít. Ez nem a TSN alapján történt, mivel a TSN-hez speciális IT hardver szükséges az audio követelmények kezeléséhez, és csak korlátozott számú kapcsolómodell támogatja a TSN-t. Ezért ez a fejezet nem a TSN/Milanra összpontosít, hanem arra, hogyan lehet standard IT hardvert használni valós idejű audioalkalmazásokhoz. Az átmenet az IP hálózatokra összehasonlítható az analóg

hangról a digitális hangra való átmenettel: néhány kezdeti telepítés, amelyek az új technológiát használják, esetleg hiányosságokat mutathatnak a kezelés vagy a megbízhatóság terén a hagyományos megközelítéshez képest, de ezek idővel eltűnnek. Ezért az audiojelek csatlakoztatása hamarosan nem lesz lehetséges az IT hálózati infrastruktúra nélkül. Azonban vannak területek, ahol az IT hálózatok alapvetően más módon működnek, mint a hagyományos audio útválasztás. Először is, egy szabványos IT hálózat nincs kialakítva szigorú időzítési követelmények teljesítésére, amelyek általában az audio esetében jellemzőek. Egy hálózati környezetben az adatcsomagok útját más csomagok is akadályozhatják, ami jelentős időbeli változást eredményezhet az érkezési időben. A hagyományos audio kábelek esetében az adatok továbbításának időzítése nem változott meg a kábel által. Másodszor, egy csomag elvesztése elfogadhatónak tűnhet a szokásos IT alkalmazások esetében, mivel azok automatikusan újraküldésre kerülnek, ha elvesznek. Az audio alkalmazások esetében a késleltetés minimalizálása érdekében létfontosságú, hogy a csomagok az első alkalommal érkezzenek meg, mivel nincs elegendő idő az újraküldéshez. Ha néhány csomag elveszik, az azonnal hallható megszakításokat okoz. A csomagvesztés gyakori oka a linkek túlterhelése. Ezért, éppen úgy, ahogyan az utakat optimalizálják a forgalomcsillapítás elkerülése érdekében, az audiohálózatokat is oly módon kell kialakítani, hogy elegendő sávszélesség álljon rendelkezésre minden felhasználójuk számára. Ha ez teljesül, a csomagkiszállítás időben történik, ahogyan az audio alkalmazások igénylik. Ennek biztosítása az audiofelhasználó motivációja annak megértésére, hogy az IT hálózatok hogyan működnek, és hogyan befolyásolhatók a komponenseik konfigurációjával, például kapcsolókkal és útválasztókkal. Azonban ahelyett, hogy mélyen belemerülne az IT hálózatok összes részletének megértésébe, gyakran könnyebb túlbiztosítani a hálózatot oly mértékben, hogy minden csomag időben megérkezzen, anélkül, hogy további finomításra lenne szükség a kapcsolók konfigurációjában. Konkrétan ez azt jelenti, hogy olyan IT hálózatokat kell építeni elegendő sávszélességgel, és kizárólag az audio alkalmazások számára kell használni, tehát ne keveredjenek általános irodai alkalmazásokkal. A legtöbb audio-over-IP technológia abból indul ki, hogy az alapul szolgáló hálózat megfelelően fog működni: nincs csomagvesztés, és nincs súlyos ütközés más csomagokkal a kapcsoló hardverben. Néhány hálózatban, különösen ha az audio és más forgalmat keverik, fontos lehet az audioés szinkronizációs csomagoknak elsőbbséget biztosítani másokkal szemben, például internetes böngészés vagy fájlkoppintás irodai alkalmazásokkal. Ez a mai legtöbb kereskedelmi forgalmazott kapcsolóval elérhető. Ennek a fejezetnek a fókuszja az alacsony késleltetésű alkalmazásokon van, amelyek kihasználják a tömörítetlen audiojeleket, például a magas minőségű audioelállításokat. Ezek lényegében ugyanazokat a követelményeket támasztják az IP hálózatokhoz, mint az AES/EBU vagy MADI esetében. Tehát itt leírt magyarázatok az összes AES67 szabványt támogató audiohálózati technológiára vonatkoznak, ideértve a következőket is:

- Audinate által kifejlesztett Dante
- QSC által kifejlesztett Q-LAN
- Lawo és Partnerei által kifejlesztett RAVENNA

2.1.1. Előnyök és hátrányok

Nincsen szükség fizikai kábelekre a különböző végpontok között. Egyetlen egy CAT kábelre van szükségünk a rendszerbe kapcsoláshoz, majd egy szoftveres kezelőfelületen keresztül bármikor megváltoztathatóak a jelek útjai. (Ez alól kivételt képeznek a redundáns rendszerek amelyek két CAT kábelt igényelnek a redundancia biztosítása végett) A megfelelően megtervezett rendszerünk modulárisává válik, és a hálózat bármely pontján könnyen bővíthető, illetve a hálózat bármely pontjáról elérhetővé válik a rendszer. Egyes eszközökre a

gyártó akár olyan fundamentális frissítéseket is kiadhat, amely nagymértékben képes lehet az adott eszköz funkcionalitását javítani, vagy új funkciók hozzáadásával tovább növelni a komponens értékét.

A digitális hangfeldolgozás nagy flexibilitást és helytakarékoságot hozott el magával ebben az iparágban, de mindez nem teljes mértékben jött hátrány nélkül. Még a legmodernebb és legjobb A-D (analog to digital) konverterek sem tudták teljes mértékben visszaadni azt a tipikus analog hangot, amire egy analog hangrendszer képes. Ez elsősorban abból fakad, hogy egy átlagos digitális keverővel és végfokrendszerrel ellátott új generációs hangrendszerben sok A-D és D-A konverzió történik, és minden egyes konverzióval, hiába veszünk sok mintát (96 kHz 24 bit 3000+kbps), a hang akkor is vesz egy kicsit a karakteristikájából. Az IT hálózatok alkalmazása hangkapcsolatokra nézve számos előnyt kínál, amelyeket az alábbiakban tekintünk át:

- Rugalmasság a hangkapcsolatok hozzáadásához vagy módosításához anélkül, hogy a kábeleket cserélnénk
- Az IT alacsony áron széles skálájú funkciót kínál, amit az általános gazdaságosság elveként ismerünk
- Az alkalmazkodás és integráció az IT hálózati infrastruktúrába specifikus audio vagy videokábelek telepítése nélkül
- Videójel és vezérlési adatok továbbíthatók ugyanazon infrastruktúrán keresztül további erőfeszítés nélkül.

Ugyanakkor az audio-over-IP hálózatok felhasználóját számos kihívás elé állíthatják:

- Mivel általában több hangmintát egy csatornából egy csomagba helyeznek el a teljes hatékonyság érdekében, adott minimális késleltetés adódik, mivel az küldőnek meg kell várnia, hogy a hangminták rendelkezésre álljanak, mielőtt azokat átküldené a hálózaton. Ez a késleltetés általában magasabb, mint a pont-pont digitális hangszabványok esetében, de optimalizált csomagformátumok és hálózati beállítások segítségével minimalizálható és közelíthető.
- Mivel az IT hálózatok nem meghatározottak a csomagok úti idejét tekintve, egy biztonsági tartományt, azaz egy audio buffer-t kell beszúrni a fogadó végén. Ez a buffer további késleltetést eredményez. Minél kevesebb csomagütközés van jelen a hálózatban, annál inkább csökkenthető ez a biztonsági tartomány (és ezzel a késleltetés).
- Az audio csomagformátumok változatossága miatt növekszik a komplexitás, ami azt jelenti, hogy a fogadóknak és küldőknek azonos beállításokkal kell rendelkezniük. Az audio-over-IP technológia komplexitása jelentősen magasabb, mint az előző technológiáé. Az iparág még mindig jelentős munkát végez annak érdekében, hogy csökkentse ezt a komplexitást a felhasználó számára, bevezetve intelligens és felhasználóbarát szoftvermegoldásokat az audiohálózatok kezelésére.

2.1.2. Fázishelyesség

A legtöbb audio alkalmazásban kritikus a több eszköz szinkronizált viselkedése. Stereofonikus felvételi helyzetekben vagy több hangszórával történő hangerősítés során elengedhetetlen a mikrofonok vagy hangszórók közötti fázispontosság. Amikor több hangszóró van csatlakoztatva egy erősítőhöz, és az összes csatorna egyetlen hangcsomagban érkezik meg, nincs veszélye annak, hogy a csatornák kifázisban lennének egymással, mivel a hangminták

nem változhatnak el egymás között a hálózaton keresztüli átvitel során. Azonban egyre több alkalmazásban több erősítő és processzor függetlenül kap hangcsomagokat, miközben továbbra is szükség van arra, hogy pontosan reprodukálják az audiojeleket fázispontossággal. Ezért egy adott audio csomagot több hálózati eszköz is megkaphatja, pufferelheti, majd pontosan ugyanabban az időben kell lejátszania. Mivel nincsenek szoros időzítési specifikációk az IT hálózatokban a csomagok továbbításának és megérkezésének időpontjára vonatkozóan, az audiohálózatoknak szinkronizációs módszert kell biztosítaniuk ezek között a vevők között. Ez egy fontos, de új probléma az audiohálózatokban. Szerencsére a későbbiekben leírt koncepció elterjedt és jelenleg minden audiohálózati szabványban és a videóban is használatos. Az audiohálózaton belül minden eszköz abszolút időben szinkronizált a Precision Time Protocol (PTP) szerint. Ez azt jelenti, hogy belső óráik (PTP követők) egy referenciaóra eszközből (PTP vezető) származnak. Ez az eszköz bármilyen audioeszköz lehet, amely biztosítja ezt a funkciót, vagy akár egy speciálisan kifejlesztett termék is lehet a pontos PTP órák előállítására. A vezetőt egy felhasználói beállítás vagy alternatívaként egy szabványos automatizmus választja ki. Az összes eszköz számára, legyen az audio adó vagy vevő, az a végső követelmény, hogy pontosan szinkronizálódjanak ehhez az adott időhöz. Az audio csomag küldési pillanatában egy időbélyegzővel látják el, amely azt jelzi, mikor lett elküldve. A felhasználó állandó időeltolást állít be az összes vevőnél, a ún. linkeltolást. Amikor egy csomag megérkezik egy vevőhöz, a pufferben marad, amíg lejátszásra kerül. Tehát az audio lejátszás pillanata a küldési idő plusz a linkeltolás. Minden vevő (pl. beépített audio-over-IP csatlakozóval rendelkező hangszórók) két feltétel mellett érheti el egymás között a fázispontosságot: Pontos időszinkronizálás a PTP óra vezetőjéhez (azonos időbázis) Azonos linkeltolási érték beállítása a felhasználó által az összes vevőeszközön. Ezért a linkeltolást az érintett összes kapcsolat legrosszabb esetű késleltetése alapján kell kiválasztani. Javasolt bizonyos engedményt hozzáadni az esetleges csomagkiszállítási idők váratlan eltéréseinek esetére.

2.1.3. Szinkronizáció

Az IP küldők és fogadók szinkronizációja az alacsony latenciával való szinkron működéshez elengedhetetlen. A hagyományos audio technológiákban az eszközöket vagy külön word clock kapcsolattal, vagy szinkronizált audio formátumokkal, például AES/EBU vagy MADI segítségével szinkronizálták. A fogadók közvetlenül képesek voltak azokból az formátumokból frekvenciájukat és fázisukat kinyerni, mivel valamiféle „impulzust” biztosítottak, ami jelzi a pillanatot, amikor egy audio minta létrejön vagy lejátszódik, például analóg-digitális konverterek esetében. Megjegyzés: A következő fejezet részletezi, hogyan szinkronizálják a hangeszközöket fázisban a szakosított csomagok segítségével (PTP). Ezek a csomagok kicsik és nem tartják fel a forgalmat sokáig, de fontos, hogy a kapcsolókban a lehető legmagasabb prioritással továbbítsák őket. Ez végül növelni fogja a szinkronizáció pontosságát. A QoS-hoz kapcsolódóan ez azt jelenti, hogy a PTP csomagokat még a hangnál is magasabb prioritással kell kezelni. A fenti példában ezért a sorba (queue) 4-hez lennének hozzárendelve, míg a hang a 2. vagy 3. sorba kerülne. Táblázat 9.1 Ajánlott QoS beállítások DSCP érték Legmagasabb prioritás (például sor 4) 46 és 56 (szinkronizáció és Dante hang) Közepes prioritás (például sor 2 vagy 3) 34 (hang, Dante kivételével minden) Legalacsonyabb prioritás (például sor 1) Minden egyéb Az Audio-over-IP már nem támaszkodik hagyományos időzítőkre „impulzus” formájában, hanem az abszolút idő információra helyezi a hangszerzés során. Az összes hálózati eszközt ugyanazon naptári időpontra szinkronizálják a Precision Time Protocol (PTP) segítségével. Ennek az időnek a kiindulása egy olyan eszköz, amelyet óraleadernek (vagy órasternek) neveznek, míg az ehhez igazodó eszközöket óra követőknek (vagy óra szolgák) hívják. Minden eszköznek meg kell hozzá generálnia a kívánt hagyományos órát (például 48 kHz), amelyet a PTP-n

keresztül kapott abszolút időből származtat. Ez a belső óra az ún. médiaóra. Ha a gyártó megfelelően implementálja, minden eszköz médiaórájának ugyanaznak kell lennie a frekvencia és fázis terén. A magas pontosság technikailag elérhető, de kihívást jelent az audio gyártók számára. Ezért a PTP szinkronizált eszközök közötti fázispontosság minőségtől függően változhat. Elfogadható változás $<1 \mu\text{s}$. Mivel az IT hálózatok nem eléggé determinisztikusak a csomag kézbesítésének időpontját illetően, a készülékek pontos szinkronizációja kifinomult megközelítést igényel. A PTP követők fő feladata két hatás kompenzálása, amelyek minden hálózatban előfordulnak: JITTER KOMPENZÁCIÓ A PTP vezető által a szinkronizációs üzenetekben megadott jelenlegi időt az összes követőnek egy jól ismert multicast cím (224.0.1.129) használatával mutatják be. A hálózat és a kapcsolók sorai természetükből adódóan ez az információ nem mindig érkezik meg állandó késleltetéssel a követő végére. Ez a változás a csomag jitter vagy csomag késleltetési változás (PDV) néven ismert, és minden PTP követőnek ki kell egyenlítenie. Általában az audio hálózatok 1–8 üzenet/mp szinkronizálási arányt használnak, az 8 a maximális kompatibilitás érdekében javasolt érték. KÉSÉS MÉRÉSE A követő második kulcsfontosságú feladata a vezető és a követő közötti csomagkésleltetés mérésének a vezető által a szinkronizációs üzenetekben kapott idő kijavításához. Ehhez szükség van azoknak az időmérésekre, amelyek során a hálózaton keresztül utaztak. Ez a mérés magában foglalja az összes közöttük lévő összetevő késleltetését, beleértve a kábeleket és kapcsolókat is. Más szóval a vezető és a követő közötti kábelhossz és a kapcsolók száma nem számít. A PTP idő az összes követő között ugyanaz nanoszekundumok pontosságával. Az egyetlen feltétel a PTP számára, hogy a késleltetés mindkét irányban, a vezetőtől a követőig és fordítva, állandó és szimmetrikus maradjon. De ez a feltétel általában teljesül a helyi hálózati telepítéseknél. A késleltetést a követő két üzenet cseréjével méri, a késleltetési kérésből és a késleltetési válaszból következően. Ezt a késleltetést általában a szinkronizálási aránnyal azonos gyakorisággal hajtják végre, bárhol 1 és 8 alkalom között. Mivel egy vezetőnek minden egyes követővel üzenetet kell cserélnie, van egy maximális követőszámra vonatkozó korlátja. Sajnálatos módon ez nincs egyértelműen meghatározva, mivel az használt üzenetsebességektől függ. Tipikus audio beállításokban, ahol nincs kijelölt PTP vezető eszköz, a mesterekre képes audio eszközök általában 25-től 250 követőig szolgálhatnak ki. Mivel a hálózaton több eszköz is képes lehet PTP vezetőként működni és elosztani az időt az összes követőnek, a szabvány szabályokat hozott létre a vezető kiválasztásához. Ezt a szabályt a Best Master Clock Algorithm (BMCA), vagyis a Legjobb Mesteróra Algoritmusnak nevezik. Minden vezetőképes eszköz küldhet bejelentő üzeneteket a prioritásairól (amelyeket a felhasználó állít be), valamint az oszcillátor pontosságáról. Ezenkívül figyelnie kell más eszközöket, amelyek szintén elküldhetik saját bejelentő üzeneteiket. Ha más bejövő üzenetek jobb minőséget jelentenek, az eszköz leállítja a vezetőként való bejelentkezését. Ellenkező esetben rendszeresen küldi saját üzeneteit, mintegy „szívverésként”, és ezzel jelez minden másnak az aktív állapotát. Ezeket az üzeneteket az announce intervallumnak nevezett időközönként küldik el. A bejelentő üzenetek szolgálnak „szívverésként” is, hogy mások tudják, a jelenlegi mester még mindig működőképes. Ha a kapcsolat megszakad, az összes egység vár egy bizonyos időt (bejelentő időtúllépés), amíg elküldik bejelentő üzeneteiket, majd megismétlik a kiválasztási folyamatot. A vezetőváltás idején a követőknek folytatniuk kell saját oszcillátoruk belső működését. Az audio nem szakítható meg a vezetőváltás során. A bejelentő üzenetekben megadott minőség két értéket tartalmaz, amelyeket a felhasználó állít be: prioritás 1 és prioritás 2. Mindkettő értéke 0 és 255 között változhat, ahol az 0 a legjobb és legyőzi a többieket. Ha egy prioritás 1 érték kisebb egy eszközön, mint más eszközökön, akkor az lesz a vezető. A prioritás 2 alatti érték csak akkor releváns, ha minden előző érték - beleértve a prioritás 1-et is - több eszközön ugyanaz. Ez előfordulhat két azonos típusú eszköz telepítéseknél, amelyeknek a felhasználó azonos értéket állított be a prioritás 1-hez. Ebben az esetben a prioritás 2 határozza meg, hogy melyik azaz két egység közül

melyik a fő vezető, és melyik tartalék. Fontos megjegyezni, hogy néhány eszköz nem kínál lehetőséget a felhasználónak prioritás 1 és 2 numerikus értékének megadására. Ehelyett egyszerűen lehetőséget biztosítanak a felhasználónak a „Preferált Vezető” kiválasztására. Technikailag ezek a termékek rögzített értéket használnak bejelentő üzeneteikben, amit a gyártó határoz meg. Ezért még mindig lehetséges, hogy egy másik PTP vezetónél beírva egy még alacsonyabb értéket, legyőzheti az ilyen típusú eszközt. Néhány eszköz támogatja azt a beállítást is, amit „Csak Szolga” vagy „Csak Követő” néven emlegetnek. Amikor engedélyezve van, az eszköz sosem próbálja átvenni a vezetői szerepet és PTP vezetővé válni.

2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység

2.1.5. Késleltetés

Amennyiben egy csomag például 1 ms hanganyagot tartalmaz, a kapcsolat késleltetése mindig >1 ms lesz. Ez nyilvánvaló, mert a küldőnek először 1 ms hangot kell pufferelnie, mielőtt beleteszi egy csomagba, majd elküldi a hálózaton. Ezt követi a hálózaton történő utazás ideje az összes kapcsolóval és sorral, mielőtt végül eljutna a fogadó eszköz pufferébe. Az IP audio kapcsolat összes késleltetése, a link offset, tehát ezeknek a három tényezőnek a összege: Csomag idő Utazási idő a hálózaton Fogadási puffer A gyakorlatban a link offset technikai kifejezés sok alternatív nevet visel, a gyártótól függően, például késleltetés vagy latencia. A felhasználó felelőssége, hogy olyan link offsetet válasszon, amely elég hosszú, hogy a fogadó puffer soha ne ürüljön ki, és ezáltal soha ne történjen meg a hang megszakítása. Annak ellenére, hogy a hálózatok lassúaknak tűnnek, a tipikus helyzetekben a hálózat nem a teljes késleltetés legfontosabb tényezője. Egy alacsony forgalmú hálózatban valójában a küldő csomagideje valószínűleg a meghatározó tényező. Ezért néhány felhasználó úgy dönthet, hogy rövidebb csomagidőt választ, annak ellenére, hogy ez növeli a feldolgozási teljesítmény és a csomagfelesleg követelményeit. De ha a hálózatban jelentős a versengő forgalom, az audio adatfolyam csomagjittere nő (több várakozás a kapcsolókban), és a fogadó puffer lesz a teljes késleltetés fő hozzájárulója, mivel kompenzálnia kell a csomagjittert. A versengő forgalom csökkentése a hálózatban közvetlenül a csomagjitter csökkentéséhez vezet, ami ezután csökkenti a szükségét a fogadási puffer kompenzálásának, és így végső soron lehetővé teszi a minimális késleltetés beállítását. Általában érdemes csak akkor csökkenteni a csomagidőt, amikor a jitter hatásokat minimalizálták.

2.1.6. IP címek és maszkok

Egy hálózaton belül minden eszköznek egyedi címre van szüksége annak érdekében, hogy a csomagok elérjék a céljukat. Egy ilyen cím lehet hardverrel kapcsolatos (MAC-cím) vagy konfigurálható a hosztokban (IP-cím). Az IP-címet háromféleképpen lehet hozzárendelni: Felhasználói kézi beállítással Ez dokumentációt és felhasználói fegyelmet igényel annak érdekében, hogy egy adott IP-címet csak egyszer használjanak ugyanabban a hálózatban. Ez lehet a preferált megközelítés állandó telepítések esetén, mivel lehetővé teszi az IP-címek rendelésének bizonyos struktúrájának követését. DHCP szerver általi eszközhoz rendeléssel Ez egy rugalmas, mégis strukturált módja az IP-címek elosztásának a hálózaton belül. Egy hoszt DHCP módban megpróbálja megtalálni a megfelelő DHCP szerveret, és minden szükséges IP-konfigurációt egy jól szabványosított módon szerez be. Egy felhasználó ellenőrizheti a DHCP szerverben észlelt eszközöket és azok IP-címeit. Az adminisztrátor konfigurálhatja úgy, hogy csak bizonyos IP-cím-tartományt osztanak ki, míg másokat kézi rendelésre tartalékolnak. Hoszt általi önkiosztással Ez a mechanizmus ismert még Zero-config néven, és csak kis telepítésekre ajánlott a korlátai miatt, mivel az összes eszköz egy alhálózatban van, és nem csatlakozhat más alhálózatokhoz. Egy adott eszköz IP-címéről

való információ beszerzése kissé nehéz lehet, ha az nem jelenik meg egy kijelzőn. Szoftveres eszközök elérhetők az eszközök jelenlétének szkennelésére IP-cím-tartományokban, de az IT osztályok gyakran tiltják az ilyen eszközök használatát. Ha az eszköz támogatja az automatikus eszközfelismerést, például mDNS vagy Bonjour, az eszközök IP-címével együtt egyfajta felfedező szoftvert lehet használni. Ennek egy példája a Merging Technologies által készített ingyenes eszköz, az MTDDiscovery [5]. Azonosítani, hogy két IP-cím ugyanabba az alhálózatba tartozik-e, lehetetlen a hozzájuk tartozó alhálózati maszkok ellenőrzése nélkül. Ha egy csomag cél-IP-címe nem ugyanabban az alhálózatban van, a küldő eszköznek a router IP-címére kell irányítania, ahelyett hogy közvetlenül a fogadó eszközhez küldené. Csomagok küldése egy alhálózaton belül sok hasonlóságot mutat a vállalatban belüli belső telefonhívásokkal. Az összes vállalati szám ugyanazzal a számsorral kezdődik, és csak az utolsó részben vagy a kiterjesztésekben különbözik. Hasonlóképpen, két hoszt ugyanabban az alhálózaton belül hasonló IP-címekkel rendelkezik, csak az utolsó számjegyekben különbözik. Az első részt hálózati címkének nevezik, a másodikat, amely az eszköz számára egyedi, hosztcímkének. A kettő közötti szétválasztást az alhálózati maszkban az '0'-s számjegyek pozíciója jelzi: A hálózati címkét az alhálózati maszkban egy '0'-nél nagyobb érték jelzi, míg a hosztcím a maradék jobb oldal, ahol az alhálózati maszk '0'-át jelzi. Ez a legjobban példák segítségével érthető meg: Host A Host B Host B ugyanabban az alhálózatban van, mint Host A, mert mindkettő ugyanazt a hálózati címkét használja (192.168.020). Az IP-cím hálózati része az a rész, ahol az alhálózati maszk 255-ös értéket mutat. Ezen két eszköz között egy router nem szükséges. Host C Host C más alhálózatban van, mint Host A és B, mert különbözik a hálózati címében (192.168. 134, nem pedig 192.168.020). Host C nem tud csomagokat cserélni A és B eszközökkel egy router nélkül. Annak érdekében, hogy ez az eszköz kommunikálhasson A és B-vel, más IP-címet kell kapnia, kezdve a 192.168. 134...címmel. Vagy más alhálózati maszk is választható az egész beállításhoz, például 255.255.0.0. A feljegyzett alhálózati maszkok decimális jelölése dot-decimális jelölésnek nevezik. Hogy ugyanazt az információt rövidebben jelezzék, a számítástechnikai osztályokban gyakran használt alternatív módszer a CIDR vagy perjeljelölés: az IP-cím után azonnal következő perjel után az alhálózati maszkot a '0'-nél nagyobb értékeket mutatva jelöli meg. Ez a jelölés az alhálózati maszk bináris formájára utal, tehát a '255' a '11111111' -nek felel meg. A fenti példákban az alhálózati maszkok tehát bináris formájukban 24 '1'-t tartalmaznak. A fenti példában szereplő hosztok CIDR jelölése: Számítógép A 192.168.020.182 /24 Számítógép B 192.168.020.079 /24 Számítógép C 192.168.134. 061 /24 A routereket használó és több alhálózatot összekapcsoló telepítések a szóban forgó OSI modell 3. rétegén működnek. Ez a modell hét rétegre osztja a hálózatok általános funkcionalitását, mindegyik egy készletet leír a hálózati eszközök által nyújtott funkcionalitásokról, például a csomagok továbbításáról a megfelelő címzett felé. Az összes jelenlegi IT eszköz követi ezt a jól meghatározott absztrakciós réteggkonceptiót, hogy elősegítse a gyártók közötti interoperabilitást. A 3. rétegen működő telepítések értelmezhetik az IP-címeket, az alhálózati maszkokat stb., és így továbbítani tudják a csomagokat az alhálózatok között. Az itt tárgyalt összes technológia képes ilyen foratókönyvekben működni. Ezzel szemben néhány technológia korlátozott a 2. rétegre. Ez azt jelenti, hogy a csomagjaikat kizárólag MAC-címek alapján szállítják, és nem tartalmaznak alhálózati információkat. Ennek eredményeként a 2. rétegű hálózatokat nem lehet több alhálózatokra bontani, a csomagjaikat nem lehet routerek által továbbítani, és ezáltal a skálázhatóságuk valamelyest korlátozott. Az egyik népszerű példa a 2. rétegű hálózatokra a már említett TSN/Milan, valamint a történelem során tovább visszamenve a CobraNet.

Egy alhálózat egy logikai szegmens egy hálózaton belül. Az ilyen szegmensézést gyakran különféle okokból hoznak létre, ideértve az adminisztratív és biztonsági szempontokat is. A hálózati adminisztrátor egy készlet szabályt alkalmazhat egy alhálózatra, míg más szabályokat választhat egy másikra. A routerek képesek összekapcsolni az alhálózatokat,

így a hosztok csomagokat cserélhetnek az alhálózati határok átlépése nélkül. Egy routernek megfelelően konfigurálva kell lennie a hálózati útvonalak létrehozásához ezek között az alhálózatok között. Ezzel szemben egy tipikus kapcsoló nem képes összekapcsolni az alhálózatokat. Egy routerrel összehasonlítva egyszerűbb eszköz. Egy virtuális LAN (VLAN) egy másik módszer a hálózat szegmentálására. Szemben az alhálózatokkal, ez egy biztonságos módja a hosztok elkülönítésének egymástól. Egy VLAN egy kapcsolóban vagy routerben van beállítva, így csak a jogosult személyzet változtathatja meg. Az alhálózat konfigurációja viszont elérhető minden olyan személy számára, aki hozzáféréssel rendelkezik egy hoszthoz. Ide tartoznak azok a felhasználók is, akik csatlakoztathatják saját eszközüket a hálózathoz, és saját maguk állíthatják be bármely alhálózatba. Gyakorlatban a kapcsolóban a hosztokat összekötő összes interfészt elhelyezik ugyanazon VLAN-ban. Ez szükséges a modern IT hálózatok összes biztonsági szempontjának teljesítéséhez. Az a tény, hogy az egy alhálózatban lévő eszközök általában hozzá vannak rendelve a specifikus VLAN-jukhoz, gyakran félreértéseket okoz a kommunikáció során. Néhány szakértő használja a VLAN kifejezést, amikor valójában az alhálózatot érti és fordítva. Egy trunk kapcsolat egy olyan kapcsolat, amely több VLAN-t szállít. A kapcsoló interfészeknek mindkét oldalon megfelelően kell lenniük konfigurálva. Ezzel a módszerrel a VLAN több kapcsolóban is elérhetővé válik.

2.1.7. Hálózati topológiák

A csomópontok különböző módon kapcsolódhatnak össze. A topológia meghatározása az egyik legfontosabb döntés, amelyet egy hálózat tervezésekor hozni kell. A csillag topológia sok szempontból a preferált megoldás. Több hoszt egy útválasztó eszközhez, például egy kapcsolóhoz vagy routerhez csatlakozik. A mai hálózatok gyakran két csillagszintet kombinálnak, hogy egy hierarchikus értelemben „csillagok csillaga” alakuljon ki. Ezt gerinc/levél architektúrának nevezik. A központi kapcsoló/router (gerinc) általában több forgalmat továbbít, mint a perifériális kapcsoló (levél), mivel a szegmensek közötti legtöbb forgalom áthaladhat rajta. Ha a gerinc és a levél közötti nagy sávszélességű kapcsolat nem képes egyszerre továbbítani az összes hoszt forgalmát, akkor ez a tervezési forma blokkoló. Az ellentéte egy nem blokkoló hálózattervezés, ahol a nagy sávszélességű kapcsolatok képesek az összes a hozzájuk csatlakoztatott hoszt teljes forgalmát továbbítani. A gyűrű topológiának több interfész is lehet: legalább kettőre van szükség egy gyűrű topológia megvalósításához. Minden két csomópont közötti kapcsolat teljes sávszélességet kínál, és a csomópontokra hárul a feladat, hogy továbbítsák a csomagokat a gyűrűn belül. Ebben az értelemben mindegyik csomópont úgy működik, mint egy kapcsoló, csomagokat továbbítva két interfésze között. A gyűrű topológia választása gyakran ésszerű, amikor nagy távolságokat kell áthidalni, és a kapcsolatok költségesek. Gyakorlati példák a különböző helyszínek közötti hálózatok, de gyűrűket alkotnak olyan eszközök csatlakoztatására is, amelyek esetében nincs hely egy további kapcsoló számára. A gyűrű topológiák beépített redundanciát kínálnak minden eszközhöz hozzáférhetünk, még akkor is, ha egy kapcsolat elszakad.

2.1.8. Unicast és Multicast

Amikor egy eszköz csomagot küld egy másik eszköznek, ezt unicast mechanizmusnak nevezzük. Egy ilyen kapcsolatnak pontosan egy küldője és egy fogadója van. Az unicast gyakran használja a Transmission Control Protocol (TCP)-t, ahol a fogadó minden egyes csomag sikeresült átvételéről visszaigazolást küld a küldőnek. Ha a visszaigazolás nem érkezik meg, a küldő automatikusan újraküldi a csomagot. Az UDP (User Datagram Protocol) egy alternatíva a TCP-nek. Ebben az esetben a küldő bízik abban, hogy a csomagok sikeresen

megérkeznek a fogadóhoz. Nincs visszaigazolás, és ha a csomag elveszik, az tartalma is elveszik. Bár ez váratlan lehet, ez valójában a preferált átviteli mód a szakmai audio hálózatok számára. Mivel az időkéseleltetés alacsonynak kell lennie, nem engedhető meg a csomagok újraküldése, mert az időt vesz igénybe, és ezzel növelné az általános időkéseleltetést. Az élő audio csomagvesztés esetén a legjobb, ha folytatjuk a következő audio minták lejátszását, anélkül hogy megpróbálnánk helyreállítani az előzőt. Az audio alkalmazásokban gyakran szükség van arra, hogy egy audio jelet több helyre párhuzamosan fogadjanak, például egy mikrofonjel, amelyet párhuzamosan továbbítanak a front-of-house és a monitoring keverőpultoknak. Akár egy harmadik hely is létezhet, mint egy audio felvevő eszköz. Amikor a küldő unicast módban továbbítja az audio csomagokat, az audio jel három csomaggént érkezik azonos tartalommal, de különböző címezési címekkel. Ez felesleges processzor terhelést jelent a küldő eszköz számára, és emellett sávszélességet foglal el mindhárom célhoz. Ezt lehet optimalizálni multicast használatával. A multicast használatának számos előnye van, ideértve a küldőre nehezedő kevesebb processzor terhelést és az általános forgalom csökkenését a hálózaton. A küldő a multicast címekre címezi a csomagokat, és nem a hoszt címekre. Nem tudja, melyik címzetteknek érkeznek meg a csomagok. A multicast címek hasonlóak a rádiófrekvenciákhoz: bárki, aki érdeklődik, bekapcsolhatja és fogadhatja a tartalmat. A küldő csak egyszer helyezi az audio adatokat egy csomagba, elküldi egy multicast címre, és a vevőknek tudniuk kell, melyik multicast címre akarnak hallgatni. Ezért ez inkább egy 'húz' mint egy 'tol' elv. Fontos megjegyezni, hogy a multicast címek alapvetően nem kapcsolódnak alhálózatokhoz, mivel nem kapcsolódnak a csomópontokhoz és az IP-címekhez. Ezért a multicast csomagok áthaladnak az alhálózatokon, hacsak nincsenek elkülönítve VLAN-okkal (amelyek általában vannak). Az UDP unicast csomag és a multicast csomag közötti egyetlen különbség a címezési cím. Meghatározás szerint bármely csomag, amelynek a címezési címe 224.x.x.x–239.x.x.x tartományba esik, multicast csomag, és a hálózat ennek megfelelően kezeli. A különböző egymást követő csomagokat, amelyek egy adott audio jelet tartalmaznak, audio áramnak vagy multicast áramnak nevezik, hogy kifejezetten leírják a multicast működést. A részt vevő kapcsolóknak támogatniuk kell a multicast továbbítást. Ez egy eszköz-intern beállítás. Ha a csomag címezési címe a fent említett tartományban van, akkor a multicast-képes kapcsoló ezeket a csomagokat több interfészre továbbítja. Ez hordozza a hálózat felesleges (túl)terhelésének kockázatát, mivel nem minden csatlakoztatott hoszt érdekli a bizonyos audio áramot. Néhányan közülük például nyomtatók lehetnek, amelyeknek semmi közük az audiohoz. Ezért fontos, hogy a multicast forgalom csak azokhoz a hosztokhoz jusson el, amelyek érdeklődnek iránta. Ennek a megoldása az IGMP snooping (Internet Group Management Protocol Internet Csoportkezelési Protokoll). Az összes tárgyalt audio hálózati technológia alapértelmezetten támogatja az IGMP snooping-ot. Ha be van kapcsolva a kapcsolóban, akkor a multicast-csomagok csak azokon az interfészekén kerülnek elküldésre, ahol a csatlakoztatott hosztoktól időszakos IGMP kérések érkeznek. Ha nincs beérkező kérés, akkor a megfelelő multicast leáll, így nem jut felesleges forgalom a kapcsolaton. Az IGMP snoopingot egyfajta zsillippel lehetne összehasonlítani, amely alapértelmezetten zárva van, és csak kérésre nyílik meg. Erősen ajánlott az IGMP snooping bekapcsolása egy multicast hálózatban minden kapcsolóban. Ellenkező esetben a hálózat túlterhelésének és a nem részt vevő hosztoknak valószínűtlenül magas kockázata áll fenn. Az IGMP querier funkcióját is meg kell említeni. Ez kiváltja az összes hoszt rendszeres kérését. Általában csak egy adott kapcsolóban van bekapcsolva ez a funkció. Bár csak egy szükséges minden hálózatban, nincs kár, ha többet engedélyeznek, mivel mindegyiket kivéve az egyiket automatikusan letiltják. Egy fontos szempontot figyelembe kell venni a hálózat tervezésekor: minden multicast forgalmat továbbítanak a querier-nek, függetlenül attól, hogy szüksége van-e rá vagy sem. Ez akár túlterhelési helyzetekhez is vezethet, annak ellenére, hogy helyesek a kapcsolóbeállítások. Gyakorlatban javasolt az querier aktiválása a kapcsolóban, amely nagy sávszélességű interfészeket kínál

és központi helyen található a hálózatban. Valószínűleg úgyis részt vesz a multicast forgalom továbbításában a helyzete természetéből adódóan. A spine/leaf hálózatban általában a gerinc kapcsoló.

2.1.9. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés

Az AES67 audio szabvány nem határozza meg, hogyan fedezhetik fel egymást a hálózati eszközök, vagy hogy mely adatfolyamok érhetők el a hálózaton. Elméletileg a felhasználótól elvárható, hogy kézi bevitellel adja meg az információkat, de a gyakorlatban az összes gyártó összefoglalta megvalósítását a következő módszerekre. 9.4.1.1 Eszközfelfedezés Az összes ismert technológia a bonjour vagy mDNS mechanizmust használja eszközeik számára az egymásról való értesítésre. Minden eszköz fix és ismert multicast cím (224.0.0.251) felé küld üzeneteket, amiket más eszközök kérnek elérni, így értesülnek egymás létezéséről. Ennek a mechanizmusnak egyik korlátja az, hogy nem működik nagy telepítésekben, ahol több alcímen vagy VLAN-on vannak. Ezen esetekre a gyártók kifejlesztettek saját megoldásokat (például az Audinate a Dante Domain Managerrel [1]) vagy követik az audio/video NMOS szabványt a felismeréshez és kapcsolatkezeléshez (NMOS-hoz lásd a 9.6.3 fejezetet). 9.4.1.2 Adatfolyam-felfedezés Az audio adatfolyamokat a gyártótól függően két mechanizmus egyikével fedezik fel. Ahogy az eszközök felfedezésénél, mindkettő előre meghatározott multicast címet használ az adatfolyam-információk terjesztésére, hogy a címzettek megtalálják az elérhető adatfolyamokat és azok paramétereit:

- Session Announcement Protocol (SAP) - minden Dante termék által használt

(Multicast cím: 239.255.255.255)

- Bonjour / mDNS - minden más technológiában használt

(Multicast cím: 224.0.0.251) Szerencsére a jelenlegi termékek többsége lehetővé teszi mindkét protokoll egyidejű aktiválását, így egy adott audio adatfolyam mindkét mechanizmuson keresztül párhuzamosan bejelenthető. Ennek eredményeként néhány adatfolyam esetleg kétszer jelenik meg a felhasználói felületen, de ez a gyakorlatban nem okoz problémát, mivel a két bejegyzés közül az egyik kiválasztása egyaránt feliratkozik ugyanarra az adatfolyamra. Ha azonban egy adott termék nem kínál lehetőséget mindkét aktiválására, elérhető egy ingyenes szoftveres eszköz, amely lefordítja a két nyelvjárást. Ez a Rav2Sap [4] nevet viseli. Bár hasznos, ha folyamatosan fut, csak akkor használható, amikor új kapcsolatokat hoznak létre a küldő és fogadó eszközök között. Az audio nem irányul át ezen alkalmazáson, így az nem szakad meg, ha az alkalmazás valamilyen oknál fogva offline kerül.

2.1.10. Redundancia

Az audióhálózatok kezdeti napjaiban egyes felhasználók kételkedtek az IT hardverek megbízhatóságában. Annak ellenére, hogy széles körben elterjedt, az IT-berendezések jól beváltak és gyakran megbízhatóbbak, mint a hagyományos audióberendezések. Emellett a legtöbb IT-hálózati komponens több diagnosztikai mechanizmust kínál a berendezések hibájának gyors felismeréséhez és megoldásához, ezek néhányát itt ismertetjük. Fontos megjegyezni, hogy ezeket a folyamatokat valószínűleg kézi beavatkozásra kell aktiválni a hálózati kapcsolókban. 9.8.1 Hidakfa-protokoll (STP) Ha a kapcsolókat úgy kötik össze, hogy hurok jön létre, fennáll annak a veszélye, hogy a csomagok végtelenül áramlanak a hurokban. Ezt az 'visszacsatoló hurok' jelenséget a hálózati hardver automatikusan észleli az STP segítségével, és ha hurokra bukkan, a kapcsoló automatikusan kikapcsol egyik kapcsolatot. Az STP-t továbbá felhasználhatják a rendszer véletlen kapcsolatvesztések elleni

védelmére is, beleértve a kábelvágásokat is. A megközelítés abból áll, hogy szándékosan létrehozunk hurokokat, majd a rendszer inaktívál egyiküket. Ha valamelyik kábel véletlenül kiesik, a rendszer másodperceken belül észleli ezt, és újraaktiválja a passzív kapcsolatot. Ebben az időszakban az audio néhány másodpercig megszakad, de még mindig sokkal gyorsabb, mint a manuális hibakeresés és az új kábel telepítése. Néhány esetben az átíró fa protokoll akár hibás kapcsolókkal is segíthet. Ebben az esetben csak a hibás kapcsolóhoz közvetlenül csatlakozó csomópontok vesznek el, míg mások alternatív útvonalon visszakapják a kapcsolataikat. A legtöbb rendszerben az STP alapértelmezetten engedélyezve van, és hurokok létrehozhatók további megfontolások nélkül.

9.8.2 Link Aggregáció Ha egy adott kapcsolat különösen fontos egy telepítésben, két vagy több kábelt párhuzamosan lehet csatlakoztatni a biztonság érdekében. Bár a ilyen linkaggregáció fő célja két kapcsoló közötti sávszélesség növelése, az is költséghatékony módszer lehet egy kapcsolat véletlen leválasztásának vagy kábelvágásának biztosítására. Tipikus esetek például két épület közötti kapcsolatok, vagy egy színpad, amely egy keverőhöz csatlakozik. A kapcsolóknak mindkét végén ugyanúgy kell konfigurálni: két vagy több interfészt kell kijelölni Link Aggregációs Csoportként (LAG), és azok egyetlen interfészként jelennek meg a kapcsolón. Gyakorlatban a linkaggregáció alkalmazása a kábelproblémák csökkentése érdekében nagyon hasznos lehet egyszerűsége miatt, hiszen a felhasználónak csak egy további kábelt kell biztosítania, és azonosítani kell a kapcsolók konfigurációját mindkét végén. Ugyanakkor a kábelt lekapcsoláskor előfordulhat, hogy az audioátvitel típusosan néhány másodpercig megszakad, mielőtt a kapcsoló alternatív kapcsolatot aktiválna.

9.8.3 Adatfolyam redundancia A legbiztonságosabb - de egyben a legdrágább - módja a redundancia megvalósításának egy hálózatban az, ha két különálló audiohálózatot hoznak létre, két független utat biztosítva a küldő és a fogadó között. Ebben a felállásban minden csomópontnak két hálózati interfészt kell biztosítania, mindkettőt mindkét hálózathoz csatlakoztatva. A küldő két azonos (audio) tartalommal rendelkező csomagot hoz létre, mindkettőre azonos PTP-időbélyegzőt nyom, majd mindkettőt elküldi mindkét hálózaton. A fogadó végén mindkét csomagot fogadják és kicsomagolják. Még akkor is, ha az egyik csomag elveszik, a megmaradt csomag tartalmazza az összes információt, és biztosítja, hogy az audio zavartalanul folytatódik. Valójában ez a mechanizmus az egyetlen megközelítés egy hálózatban a véletlenszerű csomagvesztés kompenzálására anélkül, hogy meg kellene ismételni azokat a küldőtől és ezzel hozzáadni a késleltetést. Más szóval, az adatfolyam redundancia védi a kiszolgáló oldalon az egyes csomagok elvesztése ellen, egészen a hálózat egyik felének teljes meghibásodásáig. Szerencsére erre a mechanizmusra van egy szabvány, amit hibamentes váltásnak vagy ütésmentes összevonásnak hívnak. A szabvány a SMPTE ST 2022-7 [23], és leírja, hogyan ismétlődik meg a tartalom, és hogyan kezelik a csomagokat a vevőoldalon a zavartalan jelátvitel érdekében. Ez független a csomagokban található tényleges adattípustól, és így alkalmazható az audio- és videóadatokra egyaránt.

2.2. AES67

Az AES67 szabvány [6] szerint az összes eszköznek meg kell felelnie az alábbi minimális specifikációknak (részlet): Ábra 9.19 Teljes késleltetés elemei. Kapcsolódás: Unicast és multicast (a gyakorlatban a legtöbb gyártó jelenleg csak a multicastot támogatja, bár a szabvány további unicast-támogatást is kér) Szállítási protokoll: UDP/RTP DSCP címkék beállítása meghatározott értékekre, hogy engedélyezhető legyen a Szolgáltatás Minősége (QoS) (DiffServ). Nincs meghatározott automatikus eszköz- és adatfolyam-felfedezés Szinkronizáció: PTPv2 (IEEE 1588-2008) használata PTP profil: Standard (a gyakorlatban a Dante jelenleg magasabb szinkronizációs rátát igényel, ezért a Média profil ajánlott) Kapcsolatkezelés Küldőknek ki kell adniuk egy SDP fájlt A fogadóknak érteniük kell egy

SDP fájl A fogadó puffernek legalább 3 ms hangot kell tudnia tárolni Adatfolyam formátumok Egytől nyolc csatorna (a küldő választhat egy fix számot, de a fogadóknak képesnek kell lenniük rugalmasan fogadni bármelyik lehetőséget). 24 bites és 16 bites felbontás (a küldő választhat egyet, de a fogadóknak mindkettőt érteniük kell) 48 kHz mintavételi frekvencia 1 ms csomagidő (48 minta) A multicast címek 239.0.0.0 és 239.255.255.255 között vannak Megjegyzés: A szabványban sok további paraméter és érték szerepel, de ezek nem szerepelnek a fent felsorolt minimális követelmények között.

2.3. Audinate Dante

2.3.1. A Dante hálózatok áttekintése

A Dante hanghálózatok digitális hanghálózati technológiát képviselnek, amely lehetővé teszi a hang elosztását és útválasztását a szabványos Ethernet hálózatokon keresztül. Az ausztrál Audinate vállalat fejlesztette ki a Dante-t, amely a szabványos Internet Protocol (IP) hálózatokat használja a magas minőségű, alacsony késleltetésű hangátvitelhez eszközök között. Ez lehetővé teszi a nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot a hagyományos analóg hangrendszerekhez képest, és lehetővé teszi a hang integrálását a meglévő IT infrastruktúrába. A Dante hanghálózatokat széles körben alkalmazzák, ideértve a koncerthan-gosítást, sugárzást, stúdiófelvételeket, vállalati és konferenciaközpontokat, és egyebeket. A technológia támogat számos hangformátumot és mintavételi rátát, és lehetővé teszi százak hangcsatornájának egyidejű átvitelét egyetlen hálózaton keresztül. Emellett a Dante hanghálózatok távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, megkönnyítve a nagy, összetett hangrendszerek beállítását és kezelését.



2.1. ábra. Audinate Dante logó

2.3.2. Összehasonlítás a hagyományos hangrendszerekkel

A hagyományos hangrendszerek általában analóg kábelekre és csatlakozókra támaszkodnak a hangjelek eszközök közötti átviteléhez. Ezek a rendszerek korlátozottak lehetnek rugalmasságban, skálázhatóságban és az egyidejűleg átvihető hangcsatornák számában. Emellett hajlamosak bonyolultabbá válni a beállítás és kezelés szempontjából, mivel minden hangcsatornához külön kábel és csatlakozás szükséges. Ellentétben a Dante hanghálózatok a szabványos Ethernet hálózatokat alkalmazzák digitális hangjelek átviteléhez, lehetővé téve a nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot. Mivel az Ethernet hálózatokat már széles körben használják adathálózatként, könnyű integrálni a hangot a meglévő IT infrastruktúrába. A Dante hanghálózatok jóval több hangcsatornát is támogatnak, mint a hagyományos analóg rendszerek, és távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, lehetővé téve a nagy, összetett hangrendszerek könnyű beállítását és kezelését. A Dante hanghálózatok további előnye, hogy képesek hangot továbbítani hosszú távolságokon anélkül, hogy a minőség romlana. A hagyományos analóg rendszerek zajra és jelvesztésre hajlamosak hosszú kábelek esetén, míg a digitális hangjelek, amelyeket az Ethernet hálózatokon továbbítanak, minimális minőségvesztéssel juthatnak el nagy távolságokra. Összefoglalva,

a Dante hanghálózatok számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos analóg hangrendszerrel szemben, például rugalmasság, skálázhatóság, távoli vezérlés és hang minőségromlás nélküli hosszú távú hangátvitel. Továbbá könnyedén integrálhatók a meglévő IT infrastruktúrába, és lehetővé teszik számos hangcsatorna egyidejű átvitelét egyetlen hálózaton keresztül.

2.3.3. Dante hálózatok technikai részletei

A Dante hanghálózatok a szabványos Internet Protocol (IP) hálózatokat használják digitális hangjelek átvitelére eszközök között. A technológia egy saját protokollt, a Dante-t alkalmazza, amely az User Datagram Protocol (UDP) alapján működik, és alacsony késleltetéssel és magas minőséggel tervezték a hang átvitelére. A Dante hanghálózatok két fő komponensből állnak: Dante eszközökből és Dante hálózatokból. A Dante eszközök olyan hangeszközök, amelyeket kifejezetten a Dante protokollhoz terveztek, mint például hangkártyák, erősítők és hangszórók. Ezeket az eszközöket szabványos Ethernet kábelekkkel és kapcsolókkal lehet csatlakoztatni a Dante hálózathoz. A Dante hálózat egy vagy több Dante eszközből áll, amelyeket egy közös Ethernet hálózathoz csatlakoztatnak. A hálózatot Audinate Dante Controller szoftverrel lehet konfigurálni, amely lehetővé teszi a hang elosztását és útválasztását az eszközök között. A szoftver továbbá lehetővé teszi az eszközök távoli vezérlését és monitorozását a hálózaton. A Dante hanghálózatok támogatnak számos hangformátumot és mintavételi rátát, és képesek egyszerre több száz hangcsatorna átvitelére egyetlen hálózaton keresztül. A technológia továbbá támogat olyan fejlett funkciókat, mint a Dante Domain Manager (DDM) a biztonságos hangátvitelhez, valamint a Dante Virtual Soundcard (DVS) a számítógépes alapú hanglejátszáshoz és felvételhez. A Dante hanghálózatok Quality of Service (QoS) támogatást is nyújtanak, hogy biztosítsák, hogy a hangátvitel elsőbbséget élvezzen más hálózati forgalommal szemben. Ez segít minimalizálni a hálózati torlódás lehetőségét és biztosítani, hogy a hangátvitel minimális késleltetéssel és magas minőségben történjen. Összefoglalva, a Dante hanghálózatok szabványos IP hálózatokat alkalmaznak a digitális hangjelek eszközök közötti átvitelére. A technológia a Dante nevű saját protokollt használja alacsony késleltetésű és magas minőségű hangátvitelre, és Dante eszközökből és Dante hálózatokból áll. A Dante hanghálózatok távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, széles körű hangformátumokat, mintavételi rátákat és egyszerre több hangcsatornát támogatnak, valamint fejlett funkciókat is kínálnak, mint a DDM és a DVS. A Dante hanghálózatok működése abban rejlik, hogy digitális hangjeleket továbbítanak a szabványos Ethernet hálózatokon keresztül. A technológia egy saját protokollt használ, amit Dante néven ismerünk, és az User Datagram Protocol (UDP) alapján működik, alacsony késleltetéssel és magas minőséggel tervezve a hang továbbításához. A Dante hanghálózatok két fő komponensből állnak: Dante eszközökből és Dante hálózatokból. A Dante eszközök olyan hangeszközök, amelyeket kifejezetten a Dante protokollhoz terveztek, például hangkártyák, erősítők és hangszórók. Ezeket az eszközöket szabványos Ethernet kábelekkkel és kapcsolókkal lehet csatlakoztatni a Dante hálózathoz. Amikor egy Dante eszközt csatlakoztatnak a hálózathoz, egyedi hálózati címet kap, amit Media Access Control (MAC) címnek nevezünk. Ez a cím az eszközt azonosítja a hálózaton, lehetővé téve más eszközök számára a kommunikációt vele. A Dante protokoll ezt a címet használja a hangjelek útvonalazásához a hálózaton belül. Miután az eszközöket csatlakoztatták és konfigurálták, a hangjelek továbbíthatók közöttük. A hangjeleket digitális adatsomagokká alakítják, majd a Dante protokoll segítségével továbbítják őket a hálózaton. A protokoll időbélyegezést használ annak biztosítására, hogy a hangcsomagok minimális késleltetéssel és a megfelelő sorrendben érkezzenek meg. A Dante protokoll tartalmaz hibajavítást is, hogy biztosítsa, hogy a hangcsomagok hibamentesen érkezzenek meg. A Dante hálózatot konfigurálni és kezelni lehet az Audinate Dante Controller szoftverrel. Ez a szoftver le-

hetővé teszi a hang útvonalazását és elosztását az eszközök között, valamint az eszközök távoli vezérlését és monitorozását a hálózaton. Továbbá lehetővé teszi virtuális hangcsatornák létrehozását is, amelyeket rugalmasan lehet használni hangjelek útvonalazására az eszközök között. Összefoglalva, a Dante hanghálózatok digitális hangjelek továbbításával működnek a szabványos Ethernet hálózatokon, a Dante nevű saját protokoll segítségével. A technológia egyedi hálózati címet, azaz MAC címet használ az eszközök azonosításához és a hangjelek közötti útvonalazáshoz. Az időbélyegezés biztosítja, hogy a hangcsomagok minimális késleltetéssel és a megfelelő sorrendben érkezzenek meg, míg a hibajavítás a hangcsomagok hibamentes érkezését garantálja. A Dante hálózatot az Audinate Dante Controller szoftverrel lehet konfigurálni és kezelni, amely lehetővé teszi a hang útvonalazását és elosztását az eszközök között, valamint a távoli vezérlést és monitorozást. Latencia arra utal, hogy mennyi idő telik el egy hangjel bevitelétől egy rendszerben az annak kimenetig. Hangrendszerek esetében alacsony latencia kritikus fontosságú, mivel minimalizálja a hangjel bevitelének és kimenetének közötti késleltetést, ezáltal természetesebb és azonnalibb hangot eredményez. Magas latencia észrevehető késleltetést okozhat a hangjel bevitelének és kimenetének között, ami zavaró lehet a hallási élmény szempontjából. A Dante hanghálózatokat úgy tervezték, hogy minimalizálják a latenciát, és fenntartsák a magas minőségű hangátvitelt. A technológia egy saját protokollt alkalmaz, Dante néven, amely az User Datagram Protocol (UDP) alapján működik, és optimalizált a kis latenciájú hangátvitel érdekében. A Dante eszközök emellett egy olyan technikát is alkalmaznak, amit „időbélyegzésnek” neveznek, hogy biztosítsák, hogy a hangcsomagok minimális késleltetéssel és a helyes sorrendben érkezzenek meg. Szinkronizáció arra utal, hogy az audiojelek összehangolása több eszközön keresztül egy rendszerben. A Dante hanghálózatokban a szinkronizációt a „óraképzés” nevű technika segítségével tartják fenn. Ez a technika egy közös órát használ, amelyet az összes hálózaton lévő eszköz megoszt, biztosítva, hogy az audiojelek összehangolva legyenek az összes rendszerben lévő eszközön. Az óraképzés mellett a Dante hanghálózatok támogatják az előrehaladott szinkronizációs funkciókat, például a minta-pontosságú szinkronizációt és az SMPTE-LTC és MIDI időkódot. Ezek a funkciók lehetővé teszik az audiojelek pontos összehangolását több eszközön keresztül, és alkalmazhatók élő hangosításban, sugárzási és stúdiófelvételek alkalmazásokban. Összefoglalva, a Dante hanghálózatokat úgy tervezték, hogy minimalizálják a latenciát és fenntartsák a magas minőségű hangátvitelt a saját protokoll, az időbélyegzés és az óraképzés technikájának alkalmazásával. A technológia emellett támogatja az előrehaladott szinkronizációs funkciókat, mint a minta-pontosságú szinkronizációt és az SMPTE-LTC és MIDI időkódot, amelyek lehetővé teszik az audiojelek pontos összehangolását több eszközön keresztül.

2.3.4. Rugalmasság és skálázhatóság

A rugalmasság és a skálázhatóság két kulcsfontosságú előnye a Dante hanghálózatoknak a hagyományos analóg hangrendszerekkel szemben. A rugalmasság azt jelenti, hogy a Dante hanghálózatok képesek alkalmazkodni és változtatni különböző hangkonfigurációkhoz és követelményekhez. Mivel a hangjeleket egy szabványos Ethernet hálózaton keresztül továbbítják, könnyű eszközöket hozzáadni vagy eltávolítani, megváltoztatni a hangjelek útvonalát, és a rendszert újra konfigurálni szükség esetén. Ez lehetővé teszi testreszabott audio-megoldások létrehozását, amelyeket az adott alkalmazás vagy környezet speciális igényeihez lehet igazítani. A skálázhatóság azt jelenti, hogy a Dante hanghálózatok képesek bővíteni és kezelni a növekvő hangcsatornák és eszközök számát. Mivel a Dante hanghálózatok szabványos Ethernet hálózatokat használnak, könnyű új eszközöket hozzáadni, és növelni az egyszerre továbbítható hangcsatornák számát. Ez lehetővé teszi nagyméretű audio rendszerek létrehozását, amelyek képesek kezelni százával számolt hangcsatornákat, így alkalmasak nagy helyszínekhez és eseményekhez. A Dante hanghálózatok könnyen integ-

rálhatók a meglévő IT infrastruktúrába is, lehetővé téve a meglévő hálózati infrastruktúra, kapcsolók és kábelezés használatát, csökkentve az új kábelezés és infrastruktúra szükségességét. Ez megkönnyíti a rendszer bővítését szükség szerint, és költségmegtakarításhoz vezethet. Összefoglalva, a rugalmasság és a skálázhatóság két kulcsfontosságú előnye a Dante hanghálózatoknak a hagyományos analóg hangrendszerekkel szemben. A technológia lehetővé teszi testreszabott audio-megoldások létrehozását, amelyeket az adott alkalmazás vagy környezet speciális igényeihez lehet igazítani, és könnyű új eszközöket hozzáadni, megváltoztatni a hangjelek útvonalát és újra konfigurálni a rendszert szükség esetén. A technológia emellett lehetővé teszi nagyméretű audio rendszerek létrehozását, amelyek százával számolható hangcsatornákat tudnak kezelni, így alkalmasak nagy helyszínekhez és eseményekhez, és könnyen integrálhatók a meglévő IT infrastruktúrába, csökkentve az új kábelezés és infrastruktúra szükségességét.

3. fejezet

Rendszertervezés és telepítés elő környezetben

3.1. Követelmények

Az új rendszer tervezésekor a következő szempontokat kellett szem előtt tartanom:

- Teljesen digitális megoldás kialakítása.
- Redundáns rendszer kialakítása biztosítva a folyamatos működést.
- Rugalmas felépítés, amely lehetővé teszi a könnyű alkalmazkodást változó körülményekhez.
- Könnyen bővíthető struktúra kialakítása a jövőbeli igényekhez való gyors reagálás érdekében.
- Magasabb hangminőség és hangnyomás elérésének lehetősége a korábbi rendszerrel összehasonlítva.
- Jobb lefedettség és egyenletes hangvisszaadás biztosítása a közönség területén.
- A piacon lévő termékekhez képest viszonylag költséghatékony megoldás kidolgozása.
- Legyen hosszú távon egy kompetitív és korszerű rendszer.
- Megbízható és kiforrott technológiára épüljön.

3.2. Rendszerterv

A szakdolgozatomban megtervezésre kerülő hangrendszer lelke a Dante protokoll lesz. Hangládák szempontjából a Martin Audio Wavefront Precision szériás termékeire esett a választás. Mivel teljes mértékben digitális rendszert elérése volt a cél, ezért a Dante modullal rendelkező Martin Audio iKON iK42 és iK81 végfokok tökéletesen illeszkedtek a rendszerbe. Mindkét végfok csúcskategóriás teljesítményt és hangminőséget nyújt, és a D kategóriás erősítőknek köszönhetően rendkívül kis helyet foglalnak el a rack-ben miközben kiváló hatásfok mellett képesek nagy teljesítményt leadni. A két erősítő között két fundamentális különbség van, az iK42 négy kimeneti csatornával rendelkezik, 20.000 W teljesítmény leadása mellett. Ezzel szemben az iK81 nyolc kimeneti csatornával rendelkezik, 10.000 W teljesítménnyel. [2] A végfokokat a Dante hálózaton keresztül fogjuk jellel ellátni, így a hagyományos analóg XLR, vagy AES kábelezés helyett két CAT5E kábellel

(a redundancia miatt) tudjuk a végfokokat a hálózatra kötni. A végfokrendszer fő vezérlő protokollja miatt szükség lesz még egy CAT5E alapú összeköttetésre, ami az egyes végfokokat köti össze egy hálózatba a switcheken keresztül. (VU-NET protokoll) Minden egyes végfokrackben két MikroTik 24 portos switch lesz. Az egyik switch a Dante elsődleges hálózatát fogja kizárólag kezelni. A másik switch a Dante másodlagos hálózatát, és a VU-NET hálózatot fogja kezelni. Ez a két alhálózat VLAN szegmensekkel lesz elkülönítve, hogy a hálózat biztonságos és stabil legyen.



iKON[®]

3.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



iKON[®]

3.2. ábra. Martin Audio iK81 végfok

!!!ÁBRA HELYE!!! Egy jel útja a régi hibrid rendszerben
 !!!ÁBRA HELYE!!! Egy jel útja az új teljesen digitális rendszerben

3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer

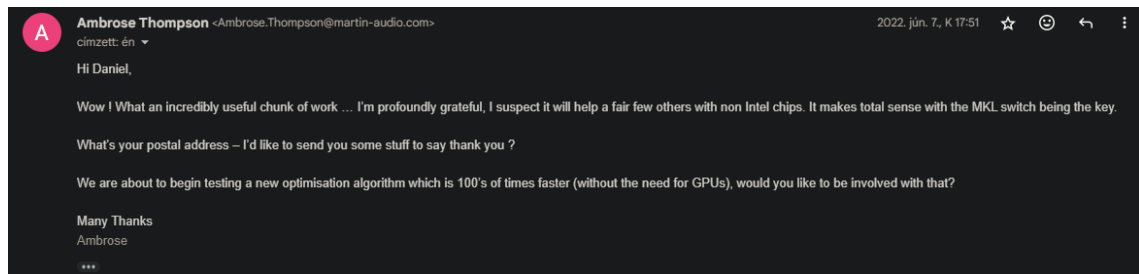
3.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [1]

Mielőtt bele fognánk a tervezési folyamatba, fontos megemlíteni, hogy a szoftver eredetileg Intel alapú processzorokra lett tervezve és MatLab alapú. Ebből fakadóan AMD Ryzen processzorokon habár elindult a szoftver, de nem volt stabil és a számítások során minden esetben összeomlott, és használhatatlanul lassú volt. Személy szerint a saját gépem amivel dolgoztam sajnos ilyen processzorral van szerelve ezért muszáj volt megoldást találni a problémára. A Martin Audio hivatalos szoftveres támogatásához fordultam először, de sajnos nem tudtak segíteni. Ezért a szoftver használatához sok belefektetett óra olvasás után sikerült egy olyan MatLab CMD parancsot találnom, amivel a szoftver elindul és használható. Miután rájöttem a probléma gyökerére, ezt megosztottam velük, hogy a jövőben másoknak ne kelljen ezzel a problémával szembesülniük. A hiba az alábbi volt. Az új AMD Ryzen processzorok másfajta utasításkészletet használnak. Ebből kifolyólag a MatLab 2015-s runtime alapú szoftver adta alaputasításokat nem tudta értelmezni a CPU. A vezető szoftvermérnökkel való e-mail-es beszélgetésünk során megköszönte a probléma megoldását, és nemsokkal a megoldásom megosztása után a hivatalos oldalra is felekezett az indító parancsfájl. Az e-mailben további kollaborációra is adott lehetőséget. A kompatibilitási problémát rögtön a script elején megoldottam, mivel a következő parancs megadásával már használhatóvá válik a program: `set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5`
 Ez a sor a program vezérlését AVX2-re állítja át, és mivel ezt az utasításkészletet már ismeri az AMD Ryzen processzor is ezért a probléma már a múlté. Az indító fájl további sorai optimalizálások a számítások gyorsítására, és a párhuzamosítására, ezzel jobban kihasználva a rendelkezésre álló hardver erőforrásokat.

```
@echo off
set PATH=%PATH%;C:\Program Files\Martin Audio\Display2_3_4_b1\application
set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5
set options=optimoptions('ga','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('gamultiobj','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('paretosearch','UseParallel',true)
set options=optimoptions('particleswarm','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('patternsearch','UseParallel',true,'UseCompletePoll',true,'UseVectorized',false)
```

```
set options=optioptions('surrogateopt','UseParallel',true)
set GPUAcceleration=on
start "Martin Audio" Display2_3_4_b1.exe
pause
```

3.1. lista. A Display 2.3.4 b1 indító ".bat" scriptje AMD Ryzen processzorokhoz



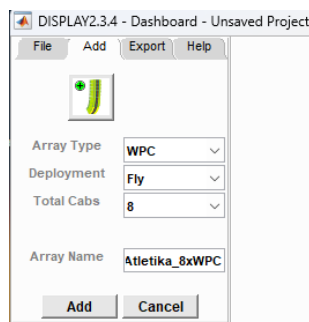
3.3. ábra. E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől

Most, hogy már a szoftver használható és teljes mértékben működőképes, kezdjük el a tervezést. A modellezés során a budapesti Millenáris B csarnoka lesz a referencia helyszín. Két LineArray rendszert fogunk tervezni, mivel a terem hosszúsága és a lefedettség növelése miatt szükségünk lesz Delay kiegészítésre a fő hangrendszerhez. Első lépésben a fő hangrendszert tervezem meg, ami oldalanként (bal és jobb) 8 darab WPC LineArray modulból fog állni. Ez a láda 2 darab 10"-os mélysugárzót (LF), 2 darab 5"-os közép sugárzót (MF) és 4 darab 0.7"-os magassugárzót tartalmaz (HF). Három utas Bi-amp meghajtású külső végfokot igénylő rendszer, ahol a mély tartományt (+1,-1) és a középhmagas tartományt (+2,-2) külön kezeljük, a négy pólusú Neutrik Speakon csatlakozókon keresztül. A láda maximális hangnyomás szintje 135 dB, és 65 Hz-től 18 kHz-ig terjed a frekvencia átvitele ± 3 dB pontossággal. [6]



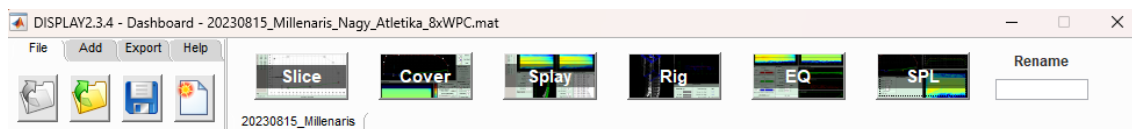
3.4. ábra. Martin Audio WPC LineArray modul

A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpalettából a megfelelő hangrendszert. Jelen esetben az előbbieken említett WPC-t. A produkció igényei, a nagy létszámú közönség és a ládamennyiség miatt a rendszert „*riggelni*” fogjuk. (maximálisan 6 darab WPC-t lehet „*stackelni*”, azaz a földre vagy mélyládákra helyezni) A helyszín felmérése után a hangrendszer „*riggelése*” lehetséges, mivel a csarnokban található tartószerkezet biztonságosan és tartósan képes elviselni a rendszer súlyát. A telepítés módja kiválasztása után megadjuk a szoftvernek a tervezni való hangláda mennyiséget, ez az esetünkben már említett 8 darab. A hozzáadás gombra kattintva a élénk kerül a fő kezelőfelület, ahol a hangrendszert tudjuk lépésről lépésre tervezni.



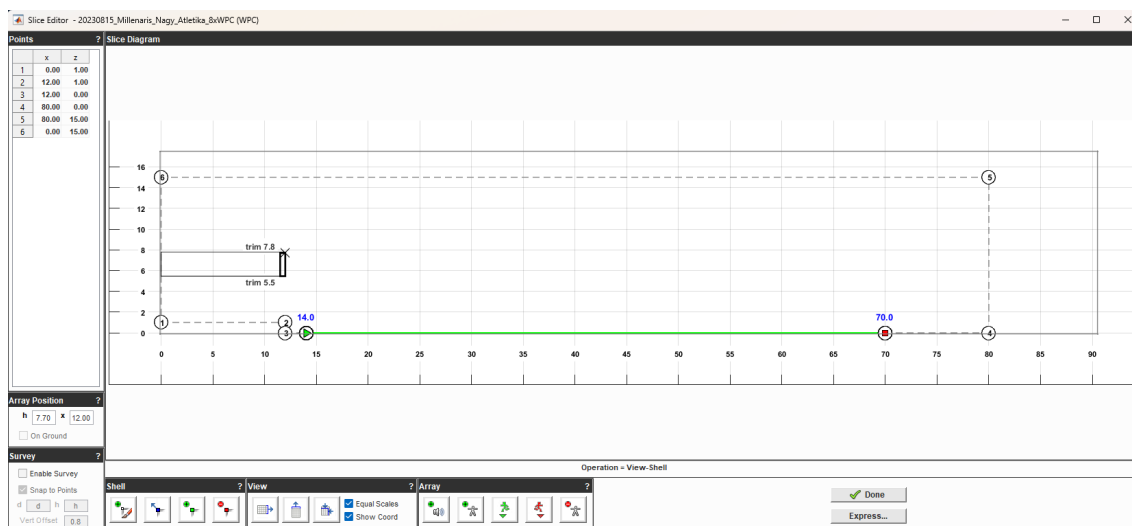
3.5. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

A tervezési folyamat öt részre osztható, amiket a szoftverben külön kezelünk. Ezeket a „*Slice*”, „*Cover*”, „*Splay*”, „*Rig*” és „*EQ*” kezelőfelületeken tudjuk elvégezni, balról jobbra haladva. Mivel a különböző részegységek egymásra épülnek, ezért fontos a sorrend betartása. (tervezés utáni módosításokra természetesen van lehetőség, de az adott projekt első tervezési folyamata során ezeket a lépéseket kell követni)



3.6. ábra. Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)

A „*Slice*” panelen meghatározzuk a rendszer fizikai pozícióját térben. A csarnok pontos lemodellezése érdekében a mérésekhez lézeres távolságmérőt használtam. Mivel minden egyes rendezvényen más és más a különböző elemek elhelyezkedése, ezért a rendszert minden alkalommal újra kell tervezni, még akkor is ha maga a helyszín nem változik. „*Vertex*” pontok segítségével tudjuk a méreteket és a pozíciókat meghatározni. A 2D-s modellen figyelembe kell venni a terem önálló méretén kívül a színpadod és a színpad mögötti területet is. A rajznak tartalmazni kell azokat a falfelületeket is amelyeknél a hangvisszaverődést minimalizálni szeretnénk, ennek az optimalizáció későbbi fázisában lesz jelentősége. A terem pontos rajza után még két fontos paramétert kell megadni ezen a felületen. El kell helyeznünk magát a hangrendszert a teremben, és meg kell határoznunk milyen magasra szeretnénk a rendszert emelni. Mivel a csarnok rendkívül hosszú, és a adottságai megengedik, ezért a rendszert minél magasabbra szeretnénk emelni, a jobb lefedettség érdekében. A másik fontos paraméter az optimalizációhoz, a közönség területének meghatározása. Kezdő és végpont segítségével tudjuk a területet meghatározni, ahol a hallgatóközönség tartózkodni fog.

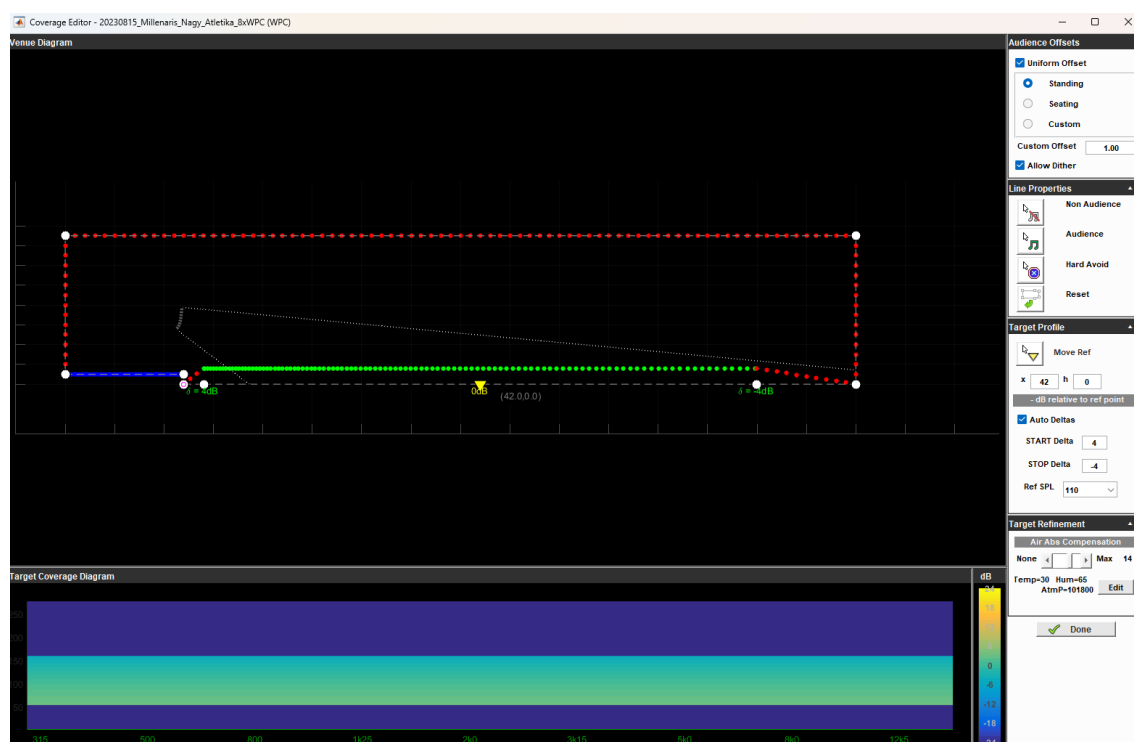


A következő lépések a „Cover” kezelőfelületen történnek. Első és legfontosabb beállítás amit el kell végezni, hogy a hallgatóság az esemény során ülni vagy állni fog-e. Lehetőségünk van a nézőteret különböző részekre is osztani, amennyiben a rendezvény során különböző helyeken eltérő típusú részeket szeretnénk egyenletesen lefedni. Lehetőség van egyedi magasság beállítására is, de jelen esetben a közönség egyhangúan állva fogja hallgatni a produkciót, ezért a „Standing” opciót választottam. Az előző lépésben elkészített rajzunkon definiálhatunk a program számára három fő régiót. Ezek az alábbiak:

- „*Non Audience*” - a közönség területén kívül eső terület
- „*Audience*” - a közönség területe
- „*Hard Avoid*” - a közönség területén kívül eső terület, ahol a hangvisszaverődést szeretnénk minimalizálni

Jelen esetben a fő hangrendszerrel nem jelöltem meg a „*Hard Avoid*” területet, mivel a teremben az első olyan felület ami a hangvisszaverődést okozna már olyan távol helyezkedik el a hangrendszertől, hogy a hangvisszaverődés már nem okoz problémát. A következő lépéseket előkészítve meg kell határoznunk a hangrendszertől egy adott távolságra lévő pontot a teremben, amit referencia pontként fogunk használni. Ezt a pontot a „*Move Ref*” gombra kattintva tudjuk megadni, vagy manuálisan beírva az X és Y koordinátákat. Automatikusan a terem közepére van pozicionálva a referencia pont, de ezt erősen ajánlott mozgatni attól függően mit szeretnénk elérni. Jelen esetben a mix pultot fogjuk a referencia pontnak megadni. A „*Start*” és „*Stop*” mezőkben meg kell adnunk, hogy a referencia ponttól véve mekkora hangnyomás deltával szeretnénk dolgozni. Ez azt jelenti, hogy a kezdő, a referencia és a végpont közötti hangnyomás hány dB-el térhet el egymástól. Ezt az értéket a szoftver az eddig megadott információk alapján automatikusan kiszámolja, de manuálisan is megadhatjuk. Az automatikus számítás az esetek többségében megfelelő eredményt ad, ezért most is ezt választottam. A „*Target SPL*” mezőben megadhatjuk a referencia ponton elérni kívánt hangnyomás szintet. Így a rendszer „*Gain*” struktúrája úgy lesz beállítva, hogy a referencia ponton 0 dBu bemeneti szint mellett elérjük a megadott hangnyomás szintet. Magas frekvenciák csökkennek ahogy a távolság nő a forrástól, azaz a hangrendszertől. Ha egyenletes frekvencia választást szeretnénk elérni nagyobb távolságokon, akkor a rendszernek nagyobb energiára lenne szüksége a magas frekvenciákon.

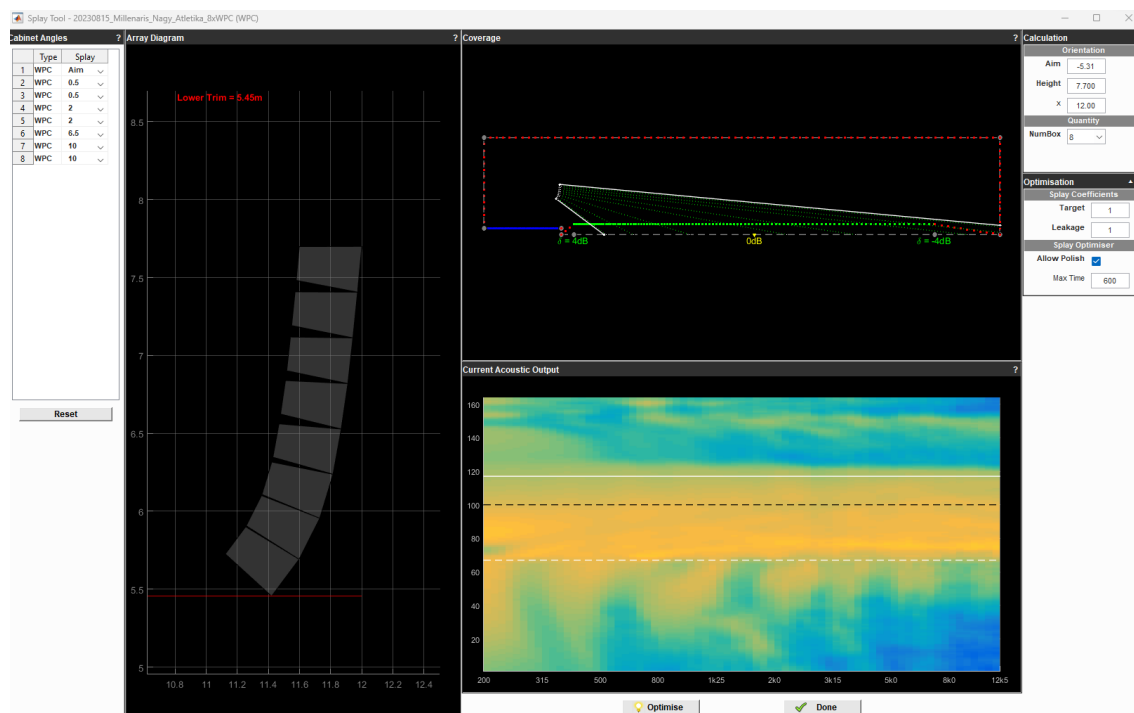
és kifutna a dinamika tartalékból, ezért jobb megoldás, ha a magas frekvenciák fokozatosan csökkennek a távolság növekedésével. Beállíthatjuk a levegő veszteség kompenzációját, teljesen balra állítva nincs kompenzáció (figyelmén kívül hagyva a levegő abszorpcióját). Teljesen jobbra állítva a maximális kompenzáció (a rendszernek 17dB headroom-ra van szüksége, hogy egyenes választ kapjunk). Viszont ezekből az következik, hogyha túlságosan sok a kompenzáció, akkor a rendszernek nem lesz elég dinamika tartaléka, és a hang torzulni fog. A változások hatását a „*Target Response*” ábrán láthatjuk. Ahhoz, hogy a számítások pontosak legyenek, elengedhetetlen, hogy pontosan megadjuk a környezeti változókat, a hőmérsékletet, a páratartalmat és a légnyomást. Ezeket a paramétereket a „*Edit*” gombra kattintva tudjuk megadni. Jelen esetben mivel a teremben alaphőmérséklet is meleg van, a mérés időpontjában 28 fok, és a rendezvény során a közönség is melegíti a termet, ezért a hőmérsékletet harminc fokra állítottam. A páratartalom értéke a méréskor 57%-os volt, de én 65%-ra állítottam, mivel a rendezvény során a közönség által kibocsátott vízgőz miatt a páratartalom nagy valószínűséggel magasabb lesz ennél. A légnyomás értékét pedig a helyi időjárás jelentéséből vettem, ami azon a napon 101800 Pa volt. Ezek beállítása után mivel az adott hangkládához a gyári beállítások nagyon jók, ezért nem változtattam rajtuk, a 14-es érték egyenletes és dinamikus hangvisszaadást biztosít.



3.8. ábra. Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)

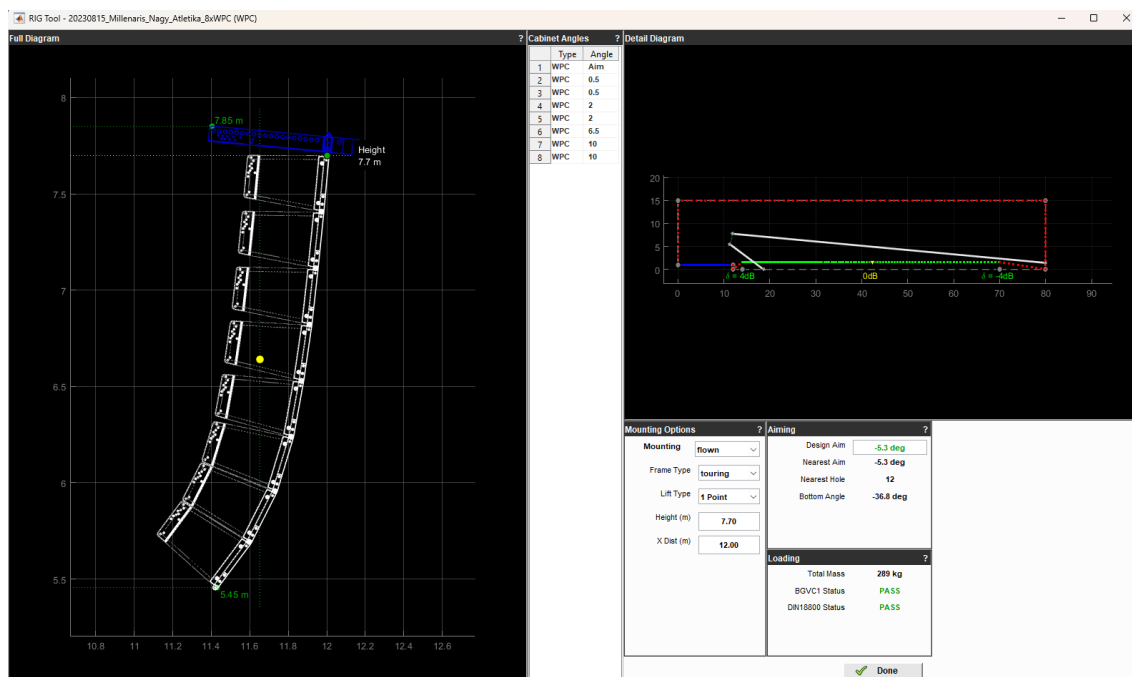
Miután a „Cover” kezelőfelületen elvégeztük a szükséges beállításokat, a „Splay” kezelőfelületen folytatjuk a tervezést. Az optimalizáció ezen részén a hangrendszert fogjuk a hallgatóság területére irányítani, a fókálási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus a lehető legjobb lefedettségre törekszik a tervezett területen. Lehetőség van az optimalizáció súlyozási tényezőinek beállítására, de jelen esetben a gyári beállításokat használtam. Amennyiben módosítani szeretnénk a súlyozást a „Target” és a „Leakage” mezőkben tudjuk megadni a súlyozási tényezőket. A „Target” mezőben megadott érték a közönség terület súlyozása, a „Leakage” mezőben megadott érték pedig a közönség területén kívül eső szivárgás súlyozása. Az „Allow Polish” opció engedélyezi a szoftvernek, hogy egy második körben finom hangolja a splay szögeket az első próbálkozás

után. Ezt az opciót előnyös bekapcsolni, mivel a szoftver így pontosabb eredményt tud produkálni, ezért ezt a beállítást mindig használom. A „*Max Time*” mezőben megadhatjuk, hogy a szoftvernek mennyi idő álljon rendelkezésére az optimalizáció elvégzéséhez. Mivel a mai modern számítógépek olyan gyorsak, hogy a szoftver általában 1-2 perc alatt elvégzi az optimalizációt, ezért ezt az értéket nem szoktam módosítani. A „*Max Time*” mezőben megadott érték másodpercben értendő.



3.9. ábra. Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPC)

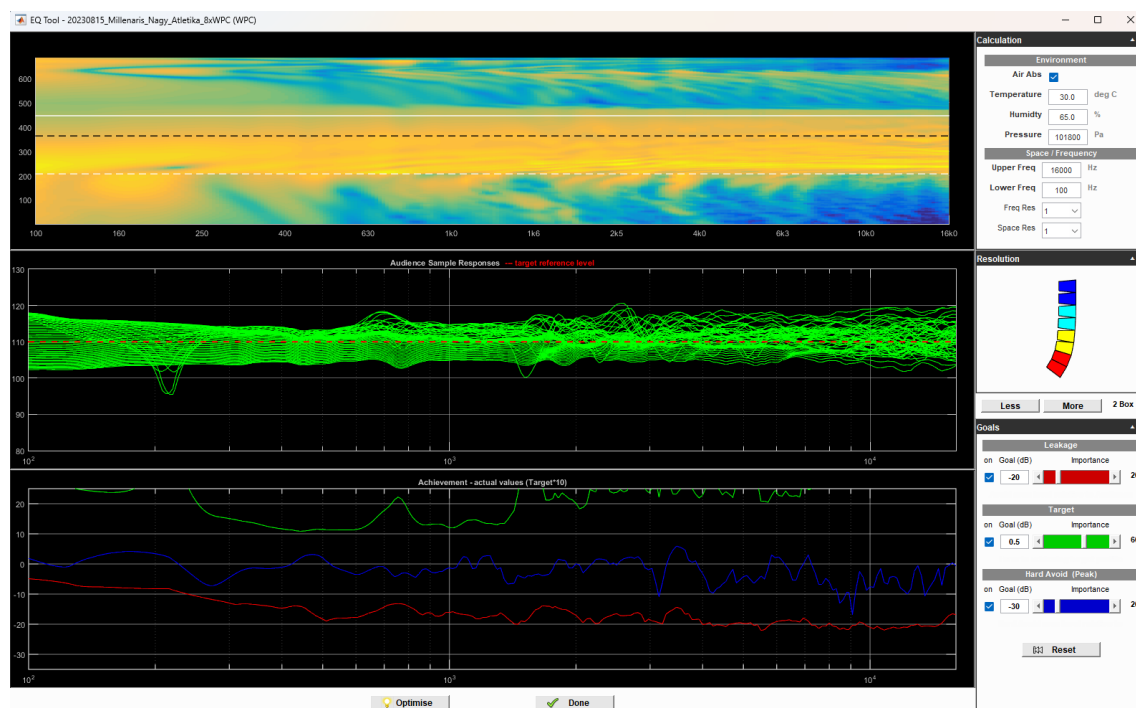
A következő lépés a „*Rig*” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben valamilyen okból szeretnénk változtatni a rendszer fizikai elhelyezkedésén, még megtehetjük, de ez a lépés ezen a ponton már nem ajánlott. Bármely kis apró változtatás kardinálisan más végeredményhez vezethet. A tervezési folyamatot újra kell kezdeni, ellenkező esetben a szoftver nem fogja tudni a megfelelő eredményt produkálni, és a rendszerünk nem úgy fog viselkedni a valóságban, ahogy azt mi szeretnénk. A hangrendszer függesztéséhez és összeszereléséhez az összes információ megtalálható itt. Gondolva itt a riggvas fokolási helyére, a ládák közti szögekre, a rendszer legfelső és legalsó pontjára. Ezek az információk kívül még a rendszer súlyát és súlypontját is megkapjuk. Esetünkben a teljes súly 289 kilogramm, amit a csarnok tartószerkezete biztonságosan elbír, valamint az egy tonnás emelőkapacitású láncos emelők is képesek biztonságosan emelni. A súlypont a rendszer relatíve közepén helyezkedik el, ami stabil függesztést tesz lehetővé. Ezek után a rendszert az említett paraméterek alapján össze építjük, figyelve az összes program által megadott információra.



3.10. ábra. Display 2.3.4 b1 „Rig” kezelőfelülete (WPC)

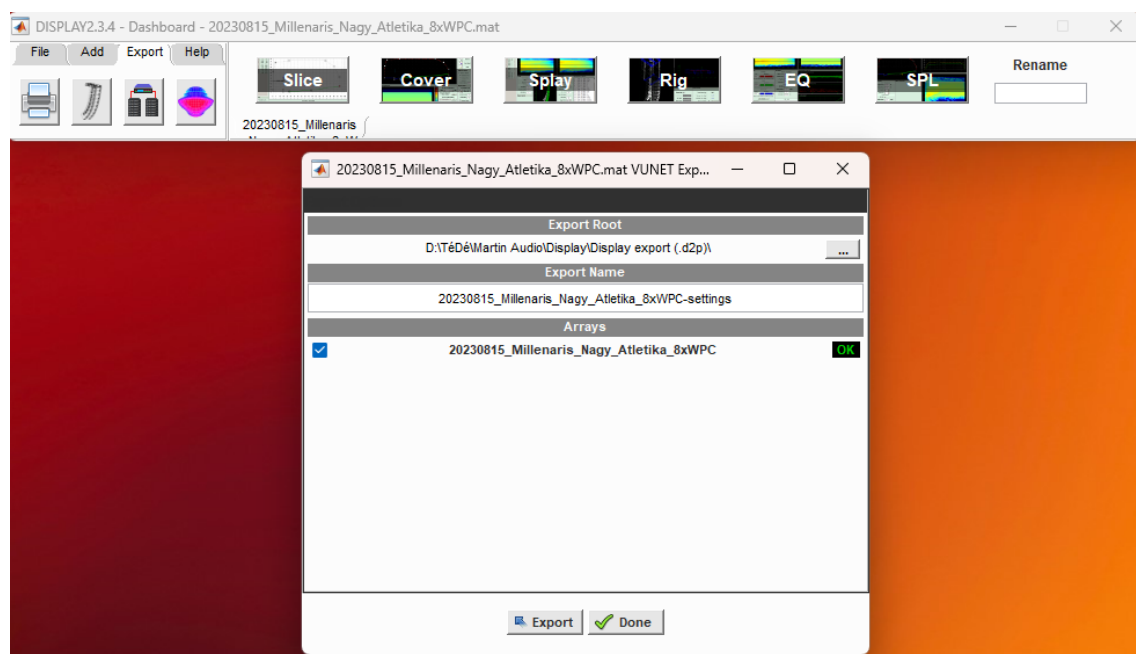
Az utolsó lépés előtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső határfrekvenciákat, de mivel a program a kiválasztott hangrendszerhez tartozó gyári beállításokat automatikusan betölti, ezért ezeket az értékeket sem kell módosítani. Amit viszont érdemes és erősen ajánlott módosítani, az a „Freq Res” és a „Space Res” értékek. Az előbbi a frekvencia felbontást, az utóbbi pedig a térbeli felbontást jelenti. Ezek az értékek határozzák meg, hogy a szoftver milyen felbontásban végezze el a számításokat. Minél kisebb értéket adunk meg, annál pontosabb eredményt fogunk kapni, viszont a számítások hosszabb ideig fognak tartani. A „Freq Res” értékét 1-re, a „Space Res” értékét pedig szintén 1-re állítottam, mivel ez az elérhető legnagyobb felbontás, és a számításokat is a lehető legpontosabban szeretném elvégezni. A gyári érték mindegyiknél a kettő. Minél pontosabbak a számítások, annál jobban fog viselkedni a rendszer a valóságban és egyenletesebb hangvisszaadást fog produkálni. Ha már a kiegyensúlyozott hangvisszaadásnál tartunk, akkor a „Resolution” panelen meg kell adnunk, hogy milyen konfigurációban szeretnénk használni a rendszert. A WPC szériás hangládákat tudjuk akár egyesével hajtani, azaz egy láda egy végfok csatorna párral (mivel Bi-Amp hangládáról beszélünk). De a gyártó lehetőséget biztosít arra is, hogy a ládákat párosával vagy hármasával is hajtjuk. Ennek költséghatékonysági és rugalmassági előnyei vannak, viszont a hangvisszaadás kevésbé lesz egyenletes. Jelen esetben az arany közép-utat választottam, és párosával fogom hajtani a ládákat. Így a rendszer összesen 3 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 12 darab végfokcsatornát jelent. A WPC rendszer csak iK42 végfokkal hajtható, a 8 csatornás iK81 végfokkal nem kompatibilis. Lehetőség van az optimalizációs algoritmus befolyásolására is, a három előbbieken már definiált súlyozási tényezők segítségével. A fő hangsúlyt a „Target” súlyozásra helyeztem, mivel a közönség területén szeretném a lehető legjobb hangvisszaadást elérni, ezért 60%-os súlyozást adtam neki. A „Hard Avoid” és a „Leakage” súlyozását 20%-ra állítottam. Továbbá mindhárom résznek megadhatjuk mekkora hangnyomás értéket szeretnénk elérni a tervezett területen. Ezeket az értékeket nem szükséges módosítani, mivel a gyári értékek megfelelőek, de ha

mégis szeretnénk, akkor megtehetjük. A paraméterezés után az optimalizáció után megkapjuk a teljes rendszer EQ beállítását és vizuális ábrázolást kapunk a referencia értéktől való eltérésekről.



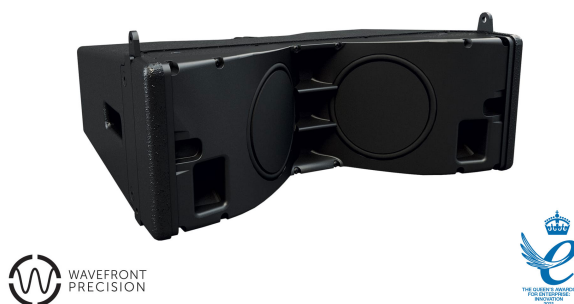
3.11. ábra. Display 2.3.4 b1 „EQ” kezelőfelülete (WPC)

Az utolsó dolgunk ebben a programban mielőtt tovább lépünk, hogy exportáljuk a tervezett rendszert. Az exportálás során egy D2P kiterjesztésű fájlt fogunk kapni, amit a VU-NET szoftver fog tud majd importálni a későbbiekben.



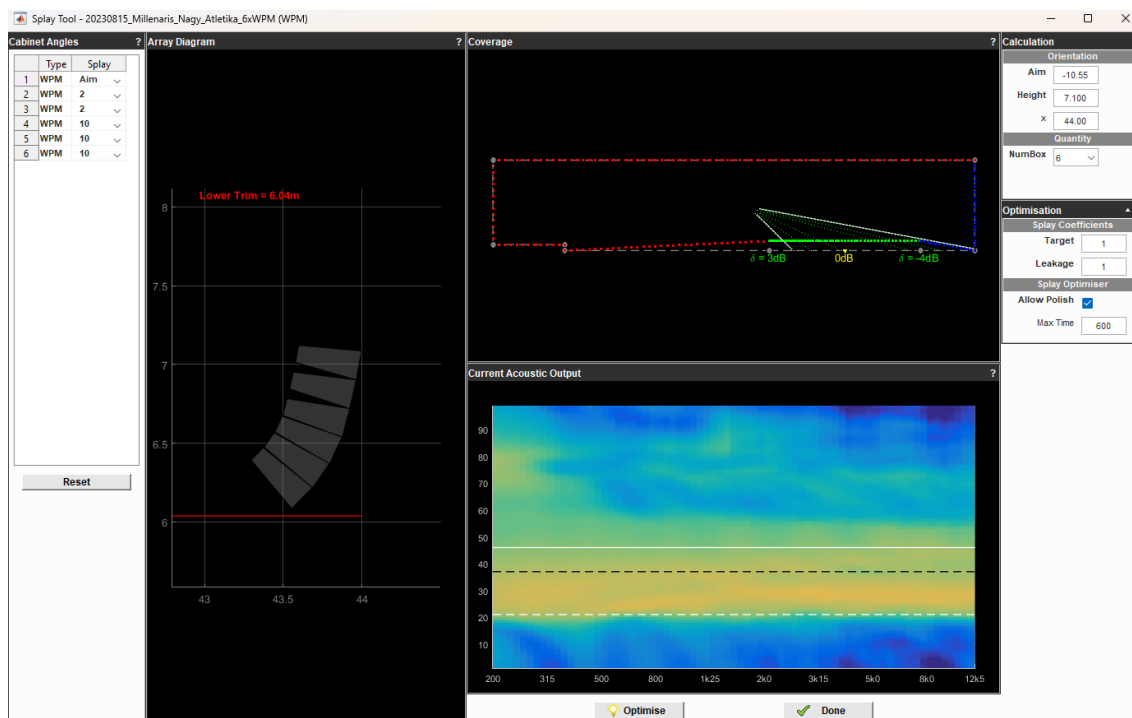
3.12. ábra. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)

A fő hangrendszer megtervezése után a következő részegység aminek a tervét el kell készíteni, az a Delay hangrendszer. A Delay hangrendszer a fő hangrendszerrel együtt fog működni, és a közönségtér hátsó-közép részétől kezdve fogja kiegészíteni azt. Erre azért van szükség, mert a csarnokban a közönség ezen része olyan távolságra helyezkedik el, hogy a WPC rendszer már nem tudja a megfelelő hangnyomás szintet egyenletesen biztosítani. Ezt a feladatot a Wavefront Precision sorozatból a WPM típusú hangládák fogják ellátni, oldalanként 6-6 darab LineArray modullal. Ez a láda egy két utas passzív hangrendszer, 2 darab 6.5"-os mély hangszóróval (LF) és 3 darab 1.4"-es magas hangszóróval (HF). Maximálisan 130 dB hangnyomás szintet tud biztosítani, nagy előnye ennek a fajta rendszernek a súly-teljesítmény aránya, mivel egy darab láda mindössze 14 kilogramm. [7]



3.13. ábra. Martin Audio WPM LineArray modul

A tervezési fázisok nagy része megegyezik az előbbi rendszer tervezésével, ezért ezeket a részeket nem ismételtem meg. A hangsúlyt a eltérésekre helyezem, és azokat fogom részletezni. A fő különbség a „Cover” kezelőfelületen történik, ahol a „Hard Avoid” területet kell megjelölni. Ezen a rajzon már radikálisan szükség van erre a funkcióra, mivel a közönség területén kívül eső területen beton nagy felületek találhatók, amelyek jelentős hangvisszaverődést okoznának. Ebből kifolyólag, szépen látható, hogy a program pontosan úgy optimalizálja a rendszert, hogy a „Hard Avoid” területre, minél kevesebb hangnyomás jusson. Már a kék színnel jelölt terület első pár méterén radikálisan csökken a hangnyomás, és a rendszer a lehető legkevesebb energiát fordítja erre a területre. A gyártó a WMP rendszert végfog csatornák szempontjából úgy tervezte, hogy a költség és a rugalmasság szempontjából akár négyesével is hajthatók legyenek. Ez persze nem jár kompromisszumok nélkül, a hangvisszaadás egyenletesebb lenne, ha egyesével hajtánánk a ládákat, de a jelenlegi rendszerben hármassával fogom hajtani a ládákat, mivel ez a legköltséghatékonyabb megoldás, és végeredményben így is kielégítő hangvisszaadást fog produkálni mint kiegészítő egység.



3.14. ábra. Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)

Az előbbieken már tárgyalt exportáló felületen az összes többi optimalizációs lépést követően mentjük az elkészített tervet a WPC rendszerhez hasonlóan.

3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [5]

Miután már rendelkezünk az összes számunkra szükséges tervezett rendszerrel a rendezvényhez, a következő lépések a VU-NET szoftverben történnek. A VU-NET szoftver egy olyan alkalmazás, amely lehetővé teszi a Martin Audio hangrendszerek teljes körű vezérlését és monitorozását. Jelen esetben az iK42 és iK81 típusú végfokokat fogjuk tudni kezelni.

3.2.1.3. Mélyláda rendszer

A mélyláda hangja hosszabb hullámhosszú, mint a többi komponensé, ezért az optimális helymeghatározásuk és elhelyezésük kulcsfontosságú a megfelelő hangzás érdekében. A rendszerben a Martin Audio SX218 típusú mélyládáit fogjuk használni. Ezek a ládák dupla 18"-os mély hangszórókkal vannak felszerelve, 2000W AES és 8000W csúcsteljesítményre képesek, és maximálisan 144 dB hangnyomás szintet tudnak biztosítani. [4]



3.15. ábra. Martin Audio SX218 mélyláda

A „*SUB*” tervezést egy általam készített Excel kalkulátor segítségével végzem el. Ez a táblázat egyesíti a Martin Audio és Merlin van Veen által készített kalkulátorokat (S.A.D), valamint kiegészítésre került további modulokkal és funkciókkal. [9] [3] A egy EndFire konfigurációs mélyláda elrendezést terveztem. (Egy EndFire Pack = két láda egymás előtt adott távolságra és késleltetési értékkel) A táblázatba megadhatjuk, hogy éppen helyileg hol van a rendezvény, és egy időjárás API segítségével megkapjuk az adott napra/napokra a teljes időjárás előrejelzést. Majd ezekből egy adott időintervallumra átlagolva megkapjuk az optimális értékeket a tervezéshez. A program kiszámolja, hogy milyen távolságra kell a ládákat helyezni egymástól előrefelé, valamint mekkora „*delay*” értéket kell alkalmazni. Majd az egyes EndFire Pack-ok egymáshoz képesti távolságot oldalirányban és azok közötti delay értéket is megkapjuk. A „*SUB array*”-t 63 Hz-re optimalizáltam, mivel ez az a frekvenciatartomány, ahol a mélyláda rendszer a legtöbb energiát tudja leadni.

3.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer

A jelenlegi rendszer két keverőpultot fog tartalmazni, egyet a fő hangrendszerhez, és egyet a monitor rendszerhez. Mindkét keverőpult Allen & Heath SQ-6 típusú digitális keverőpult lesz. A pultok 96 kHz-es mintavételezési frekvenciával operálnak és 48 csatornát képesek maximálisan kezelni, melyek közül 24 csatornával rendelkezik fizikailag beépített mikrofon előerősítővel. A konzolokon található 16 programozható gomb, 25 fader melyek 6 rétegben helyezkednek el és a felhasználó személyre szabhatja őket a saját igényei szerint. Emellett 12 sztereó mix áll a rendelkezésünkre, melyeket szintén a felhasználó konfigurálhat saját igényei szerint. A sztereó mixek testreszabásával tudunk csoportokat is létrehozni. A konzolokon 8 sztereó effekt motort is megtalálunk, ezekbe a virtuális effekt processzorokba a pultokon található ingyenes és fizetős pluginokat tudjuk betölteni. (amennyiben megvásároltuk a fizetős csomagokat, jelen rendszerben ezek nincsenek megvásárolva) További előnye a platformnak, hogy egy 32x32 csatornás USB audio interfésszel rendelkezik, így a számítógéphez csatlakoztatva egy nagy felbontású hangkártyaként is használhatjuk. [8]



3.16. ábra. Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult

3.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer

Manapság egy rendezvényen elengedhetetlen a vezeték nélküli mikrofonok használata.

3.2.4. Dante audio szerver

Ez a kiegészítő szerver egység lehetővé teszi bármilyen alacsony késleltetéssel dolgozó VST3 plugin használatát a rendszerben elő környezetben. Olyan komplex funkcionálisokat is elérhetünk, amelyek a keverőpulton csak limitáltan, vagy egyáltalán nem elérhetőek. Gondolva itt a dinamikus EQ használatára, különböző kompressziós technikákra (például Opto, Multiband), A legnagyobb előnye ennek a fajta megoldásnak, hogy költségek szempontjából egy magasabb kategóriás keverőpult rendszer sokkal drágább lenne, valamint nem vagyunk korlátozva a keverőpult által biztosított funkcionálisokkal, bármikor tudunk igényeink szerint újabb és újabb pluginokat telepíteni a rendszerbe, amíg a számítógép hardveres erőforrásai ezt lehetővé teszik. Az általam épített szerver egy AMD Ryzen 7950X processzorral és 32 GB DDR5 memóriával, és a Focusrite RedNet PCIe kártya veszi fel a harcot a komplex hangfeldolgozási feladatokkal. Ezekre a hardverekre azért esett a választás, mert mivel a Dante kártya 128 csatornát tud kezelni, (az épített rendszer 64 csatornás, de a bővítés lehetősége fent áll) erős számítási kapacitásra van szükség, hogy a rendszer a beállított késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem sikerül a jelet a beállított időn belül produkálni, furcsa zavaró pattogó hangokat hallhatunk, vagy rosszabb esetben hangkimaradás is előfordulhat. Ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása, és a pontos beállítások elvégzése. A példában szereplő rendszer kifogástalanul képes elvégezni a feladatát, és a beállított 1 ms-os késleltetési értéket is képes folyamatosan tartani.

3.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása

3.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix

Ezen a felületen tudjuk a hálózaton összekapcsolni a különböző hang vevőket és adókat. Egy nagyobb rendszerben a konfigurálása rendkívül nagy odafigyelést és precíziót igényel, pontosan tudnunk kell mit, hogyan és miért kötünk össze.

3.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet

Mielőtt neki állnánk konfigurálni az adott eszközt, fontos eldöntenünk, hogy milyen módban szeretnénk használni. Lehetőségünk van két fő mód közül választani, a redundáns és a váltott mód közül. A „*redundant*” mód mint ahogy azt a neve is sugallja redundáns

kommunikációt valósít meg az eszközök között szoftveresen és hardveresen egyaránt. Az összes Dante kártya a jelenlegi rendszerben gyári konfigurációban két RJ45-s csatlakozóval rendelkezik. Jelen esetben ezt a módot választjuk az üzembiztosság és a kritikus hibák minimalizálása miatt. A másik lehetőség a „switched” pedig eszközök láncolását teszi egyszerűbbé. Amennyiben a redundancia nem elsődleges szempont számunkra, nem kell minden egyes eszköz mögé switch, hanem a másodlagos RJ45 port direktbe köti az arra csatlakoztatott eszközt az elsődleges hálózatra. Így gyorsabban és költséghatékonyabban tudjuk kiépíteni a hálózatot, azonban a redundancia lehetősége megszűnik.

3.2.5.3. IP kiosztás

A rendszer képes automatikusan IP címeket osztani az egyes eszközöknek, így meggyorsítva a munkafolyamatot. Azonban egy fixen előre megtervezett rendszernél praktikusabb és üzembiztosabb megoldás, ha minden eszköznek manuálisan megadjuk a címét a hálózaton. A tervezett rendszerben minden egyes eszköznek fix IP címet adtam, hogy könnyen és logikusan átlátható legyen az előbb említett előnyökön kívül. A címeket egy online is elérhető Excel táblázatban tároltam, hogy amennyiben szükség van rá bármikor könnyen elérhető legyen. Ez a táblázat a cégnél dolgozó összes munkatárs számára látható, aki a rendszerrel foglalkozik. Így amennyiben új eszköz kerül a hálózatra, vagy egy eszköz IP címét valamilyen okból meg kell változtatni, egyszerűen elérhető a szükséges információ.

	Eszköz	Dante Elsődleges	Dante Másodlagos	Maszk	Ethernet IP	Switch Neve	Switch IP	Groove Neve/SSID	Jelszó	Groove IP	DHCP tartomány
Pultok											
SQ5_01	SQ5 (01)	192.168.1.1	192.168.2.1	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_01	SQ6 (01)	192.168.1.10	192.168.2.10	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_02	SQ6 (02)	192.168.1.20	192.168.2.20	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
QU-SB_01	QU-SB (01)	-	-	-	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
Boxok											
DT168_01	DT168 (01)	192.168.1.31	192.168.2.31	255.255.255.0	-	DT168_01_P	DHCP	-	-	-	-
					-	DT168_01_S	DHCP	-	-	-	-
DT168_02	DT168 (02)	192.168.1.32	192.168.2.32	255.255.255.0	-						
DT168_03	DT168 (03)	192.168.1.33	192.168.2.33	255.255.255.0	-						
PA Racks											
PA WPC 01	IK42 UP	192.168.1.111	192.168.2.111	255.255.255.0	192.168.100.111	PA_WP_01_P	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42 MID	192.168.1.112	192.168.2.112	255.255.255.0	192.168.100.112	PA_WP_01_S	DHCP				
	IK42 DOWN	192.168.1.113	192.168.2.113	255.255.255.0	192.168.100.113						
PA WPC 03	IK42UP	192.168.1.131	192.168.2.131	255.255.255.0	192.168.100.131	PA_WP_03_P	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.132	192.168.2.132	255.255.255.0	192.168.100.132	PA_WP_03_S	DHCP				
PA WPC 04	IK42UP	192.168.1.141	192.168.2.141	255.255.255.0	192.168.100.141	PA_WP_04_P	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.142	192.168.2.142	255.255.255.0	192.168.100.142	PA_WP_04_S	DHCP				
PA WPC 05	IK81UP	192.168.1.151	192.168.2.151	255.255.255.0	192.168.100.151	PA_WP_05_P	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.152	192.168.2.152	255.255.255.0	192.168.100.152	PA_WP_05_S	DHCP				
Audio Szerverek											
AMD_Prof	LiveProfessor	192.168.1.250	192.168.2.250	255.255.255.0	-	-	-	-	-	-	-

3.17. ábra. Dante eszközök IP címei a hálózaton

3.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet

Meg kell adnunk az audio hálózatunk master órajelét. Ehhez az órajelhez szinkronizál a többi eszköz. Az időszinkronizáció kulcsfontosságú élőzenei produkcióknál.

3.3. Rendszermérések és monitorozás

3.3.1. Dante rendszer monitorozása

3.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet

3.3.1.2. Dante Controller: Események nézet

3.3.2. Cardioid mélyláda rendszer mérése

3.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség

3.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése

4. fejezet

Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek

4.1. További eszközök integrálása

4.2. Bővítés nagyobb interfészre

Köszönetnyilvánítás

Ábrák jegyzéke

2.1. Audinate Dante logó	16
3.1. Martin Audio iK42 végfok	21
3.2. Martin Audio iK81 végfok	21
3.3. E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől	22
3.4. Martin Audio WPC LineArray modul	22
3.5. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)	23
3.6. Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)	23
3.7. Display 2.3.4 b1 „ <i>Slice</i> ” kezelőfelülete (WPC)	24
3.8. Display 2.3.4 b1 „ <i>Cover</i> ” kezelőfelülete (WPC)	25
3.9. Display 2.3.4 b1 „ <i>Splay</i> ” kezelőfelülete (WPC)	26
3.10. Display 2.3.4 b1 „ <i>Rig</i> ” kezelőfelülete (WPC)	27
3.11. Display 2.3.4 b1 „ <i>EQ</i> ” kezelőfelülete (WPC)	28
3.12. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)	28
3.13. Martin Audio WPM LineArray modul	29
3.14. Display 2.3.4 b1 „ <i>Splay</i> ” kezelőfelülete (WPM)	30
3.15. Martin Audio SX218 mélyláda	31
3.16. Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult	32
3.17. Dante eszközök IP címei a hálózaton	33

Irodalomjegyzék

- [1] Martin Audio: *Display v2.3 USER GUIDE v1.5*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/Display-2.3-User-Guide-v1.5.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [2] Martin Audio: *iKON Amplifier User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/iKON-Amplifier-User%20Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [3] Martin Audio: Subwoofer calculator.
URL <https://martin-audio.com/support/subwoofer-calculator>. Accessed on: 2024.01.08.
- [4] Martin Audio: *SX Subwoofer User Guide*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/SX-Subwoofer-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [5] Martin Audio: *VU-NET 2.2 User Guide v4.7*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/VU-NET%202.2%20User%20Guide%20v4.7.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [6] Martin Audio: *WPC User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPC-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [7] Martin Audio: *WPM User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPM-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [8] Allen & Heath: Sq series.
URL <https://www.allen-heath.com/hardware/sq>. Accessed on: 2024.01.08.
- [9] Merlijn van Veen: Calculators.
URL <https://www.merlijnvanveen.nl/en/calculators>. Accessed on: 2024.01.08.

Függelék