

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

HUDEBNÍ A TANEČNÍ FAKULTA

Hudební umění

Zvuková tvorba

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DIGITÁLNE OVLÁDANIE AUDIO ZARIADENÍ

Michal Sýkora

Vedoucí práce: Doc. MgA. Ing. Ondřej Urban, Ph.D.

Oponent práce: Ing. Pavel Bukovský

Oponent práce: Ing. Milan Guštar, Ph.D.

Datum obhajoby: 6. 6. 2016

Přidělovaný akademický titul: BcA.

Praha, 2016

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

MUSIC AND DANCE FACULTY

Music Art

Sound Engineering

BACHELOR'S THESIS

DIGITAL CONTROL OF AUDIO DEVICES

Michal Sýkora

Supervisor: Doc. MgA. Ing. Ondřej Urban, Ph.D.

Examiner: Ing. Pavel Bukovský

Examiner: Ing. Milan Guštar, Ph.D.

Date of thesis defense: 6. 6. 2016

Academic title granted: BcA.

Prague, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

Digitálně ovládání audio zariadení

vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

Praha, dne

.....
podpis diplomanta

Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy tj. souhlasu autora a AMU v Praze.

Abstrakt

Táto bakalárska práca si kladie za úlohu priblížiť vznik a praktické využitie digitálnych ovládačov audio zariadení, pomôcť pochopiť ich funkčnosť a technické možnosti, popísať dizajnové princípy a vývoj ovládačov ako produktov a zhrnúť potenciál aktuálnych možností v tejto oblasti.

Abstract

This bachelor thesis tries to explain history and practical use of digital controllers of audio devices, help understand their functionality and technical possibilities, describe their design principles and development of them as products and summarize potential possibilities in this area.

Obsah

Úvod	1
1. Pôvod, potreba a využitie digitálneho ovládania	2
1.1. Potreba ovládať.....	2
1.2. Využitie v praxi	2
2. Technická stránka digitálneho ovládania	4
2.1. Zdroje ovládacích signálov a prvky spätnej väzby.....	4
2.1.1. Zobrazovacie prvky	4
2.1.2. Ovládacie prvky s logickým stavom.....	6
2.1.3. Jednorozmerné ovládacie prvky	6
2.1.3.1. Potenciometer, fader, odporový pás	6
2.1.3.2. Inkrementálny enkodér.....	8
2.1.3.3. Alternatívne jednorozmerné ovládacie prvky	8
2.1.4. Dvojmerné ovládacie prvky	8
2.1.5. Trojmerné ovládacie prvky.....	9
2.2. Získavanie a spracovanie dát	9
2.2.1. ADC	9
2.2.2. Grey code.....	10
2.3. Komunikačné protokoly	11
2.3.1. MIDI	11
2.3.2. Mackie HUI	12
2.3.3. EuCon	12
2.3.4. OSC	12
2.3.5. OCA	13

2.4. Splitting, routing, a mapping	13
2.4.1. Mapping pri odosielaní.....	14
2.4.2. Mapping pri príjme.....	14
2.5. Konverzné krivky a reakcia na rýchlosť otočenia.....	15
2.6. Záznam a aplikovanie dát.....	16
2.7. Ucelené komunikačné prostredia	16
3. Dizajn ovládačov	17
3.1. Workflow	17
3.2. Ergonómia.....	17
3.3. Rozmery, rozloženie, intuitívnosť a prehľadnosť.....	18
3.3.1. Vrstvenie parametrov	18
3.3.2. Skeuomorph	19
3.3.3. Klasický a moderný signal flow	19
3.3.4. Osvetlenie ovládacej plochy	20
4. Vznik a životnosť ovládačov.....	21
4.1. Možnosti ovládania	21
4.2. Prístupy k vývoju ovládačov	21
4.2.1. Korporátne prostredie	21
4.2.2. Komunitné prostredie.....	22
4.2.3. Ideálne prostredie	22
4.3. Modularita a rozšíriteľnosť	23
4.4. Zabezpečenie investície.....	23
Záver	25
Zoznam odkazov.....	26

Úvod

Digitálne ovládače audio zariadení sú prístroje určené na lokálne alebo vzdialené ovládanie audio zariadení prostredníctvom digitálnej komunikačnej linky. Prístroj ovládaný pomocou elektroniky alebo pomocou software má minimum mechanických ovládacích prvkov, čo zvyšuje jeho odolnosť na mechanické aj elektrické poškodenie.

Ovládacie dáta nemusia pochádzať z jedného typu ovládača, čo umožňuje použitie ovládaných prístrojov s ovládačom podľa výberu užívateľa. Jeden ovládač môže ovládať viacero prístrojov a viacero prístrojov môže byť ovládaných jedným ovládačom. Užívateľ môže prepojením viacerých zariadení vytvoriť systém, ktorý splňuje všetky kladené nároky.

Vzdialenosť digitálneho ovládača a ovládaného prístroja môže byť veľká, čo má využitie v aplikáciách, ktoré vyžadujú tiché prostredie (hlučné prístroje sa presunú mimo ovládací priestor) alebo ovládanie zariadenia vzdialeného od miesta obsluhy (pri inštalácií v budovách a inde).

Prvá kapitola popisuje vznik a pôvod digitálneho ovládania audio zariadení a jeho praktické využitie. Druhá kapitola sa zaoberá technickou stránkou funkčnosti, zdrojmi ovládacích signálov a ich prvotným spracovaním, komunikačnými protokolmi a možnosťami generovania, spracovania, záznamu a aplikácie dát. Tretia kapitola pojednáva dizajn ovládačov, ich funkčnosť, rozloženie ovládacích prvkov, prehľadnosť a intuitívnosť obsluhy. Štvrtá kapitola sa zaoberá možnosťami ovládačov, procesom ich vzniku, ich modularitou a rozšíriteľnosťou a zabezpečením investície. Záver popisuje súčasné trendy a možné scenáre budúceho vývoja digitálnych ovládačov.

1. Pôvod, potreba a využitie digitálneho ovládania

Digitálne ovládanie vzniklo za účelom záznamu a prehrávania automatizácie hlasitostí kanálov mixpultov v polovici 70-tych rokov 20. storočia. Neskôr začiatkom 80-tych rokov 20. storočia vznikla potreba záznamu a reprodukcie elektronickej hudby, možnosť uchovania nastavení a vzdialeného ovládania generátorov zvuku a zvukových procesorov.

1.1. Potreba ovládať

Nároky na presnosť spracovania zvuku a precíznosť pri tvorbe hudby kladú nové požiadavky na možnosti ovládania. Tvorba a produkcia hudby je spätne podnietená technickými možnosťami.

Zvyšujúce sa nároky na rýchlosť spracovania zvuku si žiadajú prehľadné a jednoduché ovládanie. Možnosť uložiť, načítať a automatizovať nastavenia procesingu a routingu začala byť nutnosťou a samozrejmosťou.

Vývoj v tejto oblasti podnecuje potreba umelcov a producentov dosiahnuť komplexných aranží a náhlych zmien zvuku, čo si vyžaduje predprogramovať ovládanie hudobných nástrojov a zvukových procesorov.

Používanie množstva zvukovej techniky pri živej produkcii hudby si navyše vyžaduje spoľahlivosť prehrávania ovládacích dát a stabilitu komunikačného riešenia.

1.2. Využitie v praxi

Vysoká presnosť a koherencia úprav žiadaná pri nahrávkach klasickej hudbe ťaží z presných nastavení digitálnych ekvalizérov, presných fadov, presného nastavenia citlivosti predzosilňovačov a ďalších deterministických úprav.

Plynulé aj náhle zmeny parametrov v čase oceňuje oblasť tvorby komerčnej hudby. Možnosť meniť nastavenia efektov a pomer jednotlivých zvukov podľa aktuálnej časti pesničky či dokonca podľa aktuálneho motívu je pre tvorcov nenahraditeľná pomôcka. Možnosť upraviť mix vytvorený pri nahrávaní šetrí čas a úsilie.

Vo filme a viackanálovom zvuku, kde sa stretávajú desiatky až stovky stôp dialógov, ruchov a podkladovej hudby je zápis a prehrávanie automatizácie nutnosťou. Rovnako to platí pre dubbing a voiceover do reklamy.

Pri tvorbe elektronickej hudby je ovládanie viacerých nástrojov tvoriacich harmonické a melodické zložky hudby podporené možnosťou ovládať viaceré parametre generátorov zároveň. Takto komplexné ovládanie prevyšujú možnosti ľudských hráčov v technickej náročnosti a časovej synchronizácií, čo posúva hudobnú kreativitu a schopnosti komerčných aj klasických hudobníkov, ktorí sa spätne snažia dosiahnuť precíznosti počítačov.

Pri živom spracovaní zvuku je kritická rýchlosť zmeny nastavení kompletných sád parametrov (napríklad ekvalizérov a kompresorov pre odlišné vokálne rozsahy) pri zmene pesničky, scény, použitých nástrojov a rovnako zmeny mixu pre rôzne pesničky. Tieto radikálne zmeny sa využívajú od veľkých komerčných hudobných produkcií, cez muzikál, operu, kabaret až po pohybové divadlo.

2. Technická stránka digitálneho ovládania

Analógové ovládacie signály musia byť pre digitálne spracovanie mikroprocesormi kvantizované. Ovládacie signály je potom možné prenášať ako diskkrétne číselné hodnoty na veľké vzdialenosti bez straty kvality. Ich spracovanie v číselnej doméne je efektívnejšie a má praktické výhody^[1].

Ovládacie dáta vytvorené digitálnymi ovládacími prvkami alebo digitálne vygenerované je možné spracovať priamo.

2.1. Zdroje ovládacích signálov a prvky spätnej väzby

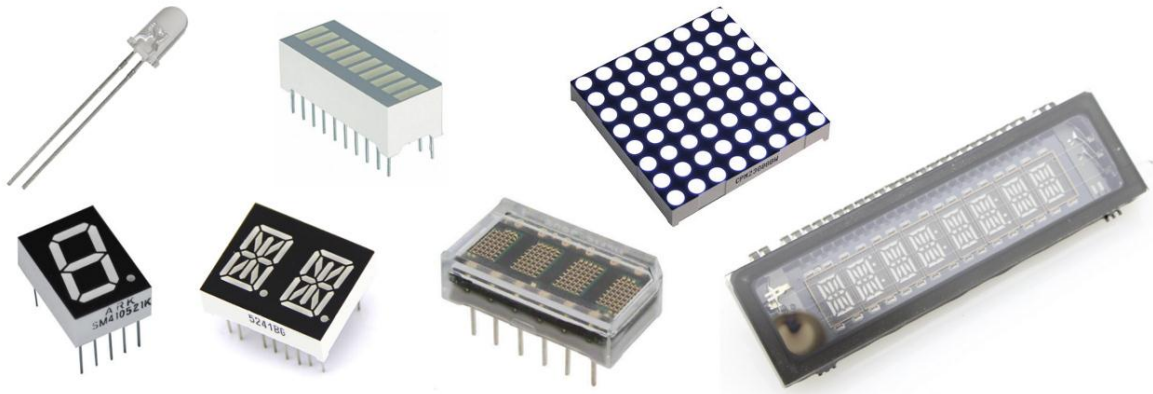
Výber ovládacích prvkov pre konkrétne parametre audio zariadení vychádza z typu ovládaných parametrov, praktickosti ich použitia, z historickej konnotácie a zo zámeru užívateľa alebo tvorcu.

Modernizácia a vývoj v oblasti digitálnych ovládačov audio zariadení postupuje tak rýchlo, že sa nebudeme zaoberať historickými a nepoužívanými variantami ovládacích prvkov (prepínač, kvadrantový fader) a ovládacími prvkami priamo nesúvisiacimi s digitálnymi ovládačmi (enkodéry s absolútnou polohou, lineárne enkodéry).

Zobrazovanie hodnôt parametrov, aktivity procesingu a informácií o priebehu zvukových signálov zvyšuje prehľadnosť ovládačov. Umožňuje vizualizovať a lepšie pochopiť, čo sa deje so signálom a tým spresniť nastavenie.

2.1.1. Zobrazovacie prvky

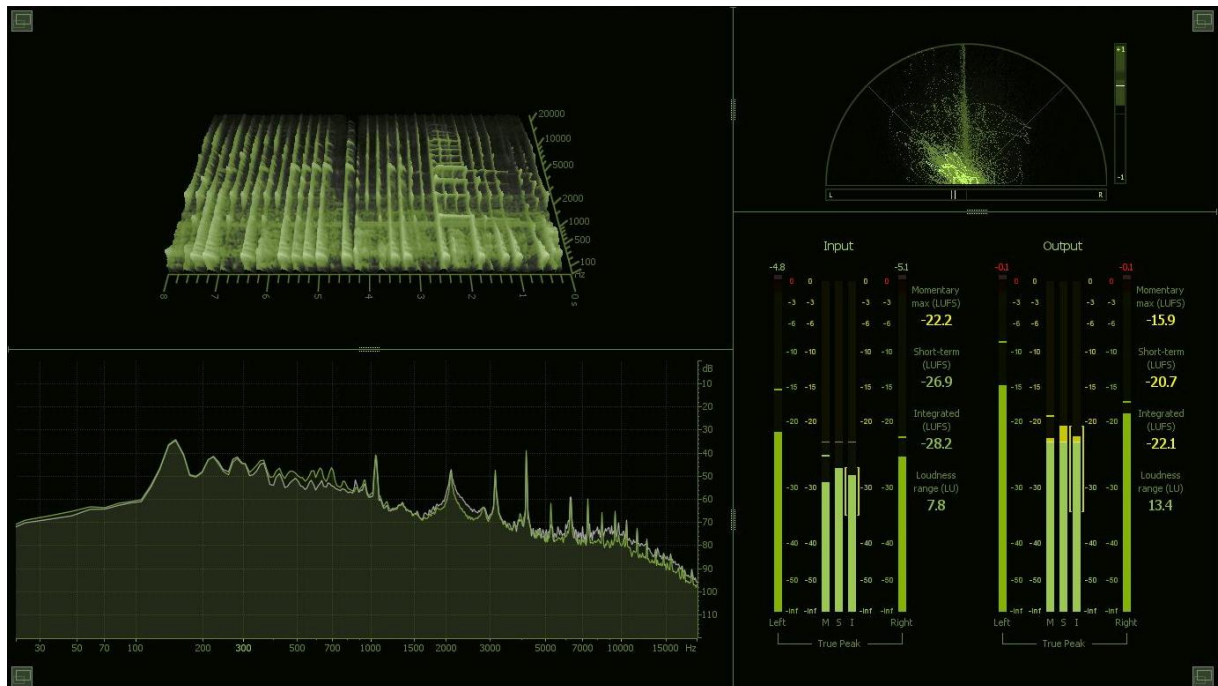
Základným zobrazovacím prvkom je LED (Light-Emitting Diode), ktorej logický stav (zapnutá / vypnutá) alebo jej intenzita môže zobrazovať napríklad stav funkcie Mute, prítomnosť signálu alebo zatvorenie Gate. Potreba spresniť zobrazenie aktivity procesingu a priebehu signálov podnietila vznik bargraphu (pásu viacerých LED), ktorý skalibrovaný a v spojení so stupnicou zobrazuje stav presnejšie. Potreba zobrazovať hodnoty a názvy priniesla vznik číselných a znakových LED displejov, dot matrix displejov (bodová matica LED) a VFD (Vacuum Fluorescent Display). Vymenované zobrazovacie prvky sa vyskytujú v aplikáciach vyžadujúcich vysoký jas a kontrast zobrazenia.



Zľava zhora: LED, bargraph, dot matrix, číselný LED, znakový LED, dot matrix, VFD

LCD (Liquid Crystal Display) poskytuje farebné zobrazenie a vysokú hustotu pixelov (obrazových bodov), čím umožňuje zobrazíť stav procesov a signálov, ktoré dokážu dodať adekvátne množstvo dát, vo vysokom rozlíšení. OLED (Organic LED) displej ponúka možnosti LCD s vysokým kontrastom, čo je umožnené svietiacimi pixelmi na čiernom pozadí na rozdiel od podsvietených pixelov LCD, kde čierne pozadie jemne svieti.

Výhodou LCD a OLED technológií je detailné dvojrozmerné zobrazovanie užitočné napríklad pri spektrálnej a goniometrickej analýze signálu.



Izotope Ozone; spektrogram, goniometer, spektrálny analyzátor a loudness meter

2.1.2. Ovládacie prvky s logickým stavom

Tlačidlo mechanické alebo jeho modernejšie varianty (silikón a vodivá guma, kapacitný snímač dotyku a ďalšie) je vhodným ovládacím prvkom pre parametre, ktoré vyžadujú zmenu logického stavu (zapnúť a vypnúť) ako napríklad funkcia Mute (vypnúť signál), Bypass (vyradenie efektu zo signálovej cesty), otočenie fázy a podobne.

Kombinovanie ovládacích a spätnoväzobných prvkov zvyšuje prehľadnosť ovládačov. Základnými kombinovanými prvkami sú tlačidlo so signalizačnou LED a podsvietené tlačidlo, ktoré zlepšujú použiteľnosť ovládačov pri nízkom osvetlení. Tlačidlá môžu byť tiež rozšírené o displej^[2].



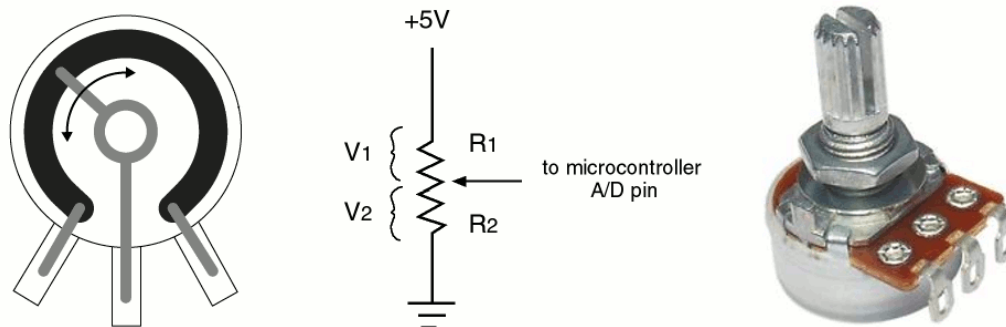
Zľava: mikrotlačidlo, mechanické tlačidlo, industriálne mechanické tlačidlo, industriálne podsvietené tlačidlo, tlačidlo s LCD displejom, tlačidlo s OLED displejom

2.1.3. Jednorozmerné ovládacie prvky

Pre variabilnú zmenu parametrov je vhodné použiť ovládacie prvky, z ktorých je možné získať plynule premenlivú hodnotu.

2.1.3.1. Potenciometer, fader, odporový pás

Potenciometer je súčiastka tvorená odporovou dráhou s dvoma vývodmi a tretím posuvným vývodom (bežcom) pohybujúcim sa medzi oboma koncami. Pohybom bežca je možné kontinuálne meniť pomer odporov medzi bežcom a koncami odporovej dráhy. Bežec voči odporovej dráhe má mechanickú absolútnu polohu. Pre digitálne ovládače je vhodné zapojenie odporového deliča, ktoré vytvára merateľné elektrické napätie.



Zľava: náčrt vnútra potenciometra, zapojenie odporového deliča, súčiastka potenciometer

Fader je špeciálny typ potenciometra, uvedený do praxe zvukovým inžinierom Tomom Dowdom^[3], ktorý miesto kruhového usporiadania má odporovú dráhu priamu. Umožňuje lepšiu vizualizáciu nastavenej hodnoty a zvyšuje pohodlnosť používania viacerých faderov zároveň.

Fadery doplnené motorom umožňujú týmto ovládacím prvkom s absolútnou polohou funkčné ovládanie viacerých parametrov posúvaním ovládača do východzej polohy. Pri použití automatizácií motorizovaný ovládací prvok zobrazuje priebeh hodnoty v čase. Inovatívny prístup predstavujú fadery s detekciou dotyku^[4], ktorá môže slúžiť ako ochrana motora alebo ako kontextuálna zmena zobrazenia.

Odporový pás je alternatívna verzia faderu^[5]. Bežec je tvorený externým mechanickým objektom (alebo prstom). Pás je mierne ohybný a menej rozmerný ako fader vzhľadom na minimálnu mechanickú časť. Absencia bežca umožňuje softwarovú implementáciu relatívnej polohy.



Zľava: fader, motorizovaný profesionálny fader, odporový pás

2.1.3.2. Inkrementálny enkodér

Inkrementálny enkodér je snímač otočenia s relatívnou polohou určený k digitálnemu ovládaniu. Pri otáčaní hriadeľa odosiela sekvenciu pulzov, ktorej priebeh závisí od rýchlosti a smeru otáčania. Sekvencia vyhodnocovaná mikroprocesorom sa premieta do zmeny hodnoty parametru. Nemá koncové polohy, zmena otočenia hriadeľa je vždy relatívna k východzej polohe.



Mechanický inkrementálny enkodér

Inkrementálne enkodéry sa líšia v počte PPR (Pulses Per Revolution – počte pulzov pri otočení o 360°). Minimálna zaznamenateľná hodnota otočenia je uhol rovný $360/PPR^\circ$, zatiaľ čo hodnota odporu potenciometra sa mení už pri najmenšom pohybe bežca.

Relatívnosť otočenia má uplatnenie pri ovládaní viacerých parametrov jedným ovládacím prvkom. Nie je nutné meniť polohu bežca na východziu pozíciu a až potom meniť hodnotu parametru, ako je to pri použití potenciometrov. Odpadá tiež nutnosť použiť ADC.

2.1.3.3. Alternatívne jednorozmerné ovládacie prvky

Vývoj v oblasti digitálnych ovládačov audio zariadení prináša inovácie použitím alternatívnych ovládacích prvkov, ako sú snímač sily stlačenia alebo snímač vzdialenosti^[6]. Objavujú sa tiež pokusy so snímačmi teploty, intenzity svetla, intenzity magnetického poľa^[7] a podobne.

2.1.4. Dvojrozmerné ovládacie prvky

Kombináciou ovládacích prvkov sa môžeme priblížiť fyzikálnym reáliám ovládaných parametrov. Joystick použitý ako surround panner (priestorová panoráma) svojim pohybom lepšie zodpovedá umiestneniu zdroja zvuku v XY súradnicovom systéme.

Najčastejšou variantou dvojrozmerného ovládacieho prvku je dotykový panel (často kombinovaný s obrazovkou) kde XY pozícia a zodpovedajúca zmena parametrov súvisí s GUI (Graphical User Interface) – znázornením ovládacieho prvku na obrazovke.



Zľava: dotykový panel pre displeje, súčiastka joystick, joystick na paneli

Gyroskop (snímač náklonu) a akcelerometer (snímač zrýchlenia) prichádzajú do oblasti hudby z robotiky, sféry herných ovládačov a sveta mobilných technológií zároveň. Trojrozmerné ovládanie je pomerne nové a jeho možné uplatnenie pri ovládaní zvuku a hudobných nástrojov sa stále skúma.

NUI (Natural User Interface) je progresívne spájanie pohybov z reálneho 3D sveta s ovládaním zvuku, kde snímaním pohybov sa umelec stáva organickou súčasťou zvukového systému. Ovládanie okolitého sveta sa užívateľ učí rýchlo a prirodzene v závislosti na zvukovej odozve. Elementárne pohyby spojené s ovládaním sú v porovnaní s GUI abstraktné, ich kombinácie vytvárajú emočne uchopiteľné zmeny.

RUI (Reality User Interface) je nadstavba NUI, využíva reálny okolitý svet a mení dotyky a ďalšie interakcie s reálnymi objektmi v zmysluplnú interakciu s virtuálnou realitou.^[3]

2.2. Získavanie a spracovanie dát

Dáta z ovládacích prvkov sú buď v digitálnej podobe pripravené na spracovanie mikroprocesorom, alebo v analógovej podobe (elektrické a neelektrické veličiny) a je nutné ich previesť do digitálnej podoby.

2.2.1. ADC

ADC (Analog to Digital Converter) je zariadenie, ktoré dokáže previesť analógovú veličinu (najčastejšie elektrické napätie) na jej binárnu číselnú formu.

Rozlíšenie ADC reprezentuje bitová hĺbka, ktorá udáva na aký počet krokov je rozdelený merací rozsah. Počet krokov sa vypočíta ako $2^{(\text{bitová})}$

hĺbka). 8 bitový prevodník dokáže rozlíšiť 256 hodnôt, zatiaľ čo 16 bitový prevodník dokáže rozlíšiť hodnôt 65536.

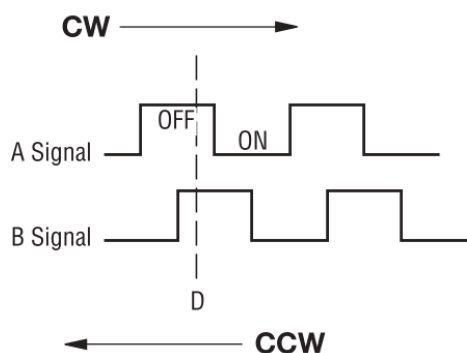
Rýchlosť ADC je udávaná v Sps (Samples per second – počet vzoriek za sekundu). $1/\text{Sps}$ je minimálny čas zachytenia zmeny hodnoty a jej prevodu.

Presnosť ADC sa udáva v počte LSB (Least Significant Bit). Ak je presnosť prevodníka ± 2 LSB, posledné dva bity informácie nemusia byť presné, čím dostaneme z 10 bitovej informácie len 8 presných bitov a 2 nepresné bity obsahujúce šum ADC a ďalšie nepresnosti.

2.2.2. Grey code

Grey code (šedý kód) je binárne kódovanie vyvinuté pre enkodéry za účelom zvýšenia presnosti a maximálnej rýchlosti otočenia. Grey code má minimálne dva signály, pre vyššie rozlíšenie môže byť doplnený o ďalšie podporné signály.

Výstupný signál enkodérov je tvorený mechanickými kontaktmi. Vzhľadom na potrebu filtrovať zákmity mechanických kontaktov pri zopnutí (debounce) sa pri vyšších rozlíšeníach a rýchlostiach otáčania používajú enkodéry optické. Signál v enkodéri môže generovať aj magnetický alebo kapacitný snímač. ^[9]



Priebeh grey code, CW – priebeh pri otočení v smere hodinových ručičiek, CCW – priebeh proti smeru hodinových ručičiek

2.3. Komunikačné protokoly

Prenos ovládacích dát zaisťujú sériové komunikačné linky, ktoré svojimi praktickými výhodami nahradili linky paralelné. Protokoly sa odlišujú v hardwarovej komunikačnej vrstve, čo ovplyvňuje ich rozšíriteľnosť a bitovú hĺbku prenášaných dát.

Protokol	Vydaný	Adresovanie	Rozlíšenie	Prístupnosť	Vývojár/i
MIDI	1983	128 CC + neštandardné	7/14 bit	otvorený	Roland, Oberheim Electronics, Sequential Circuits
Mackie HUI	1997	nedostupné	7/10/14 bit	proprietárny	Mackie, Digidesing
EuCon	2006	nedostupné	12 bit	proprietárny	Euphonix, Digidesing
OSC	2004	neobmedzené	32/64 bit	otvorený	UC Berkeley
OCA	2016	neobmedzené	32/64 bit	otvorený	OCA Alliance

Niektoré proprietárne protokoly na prenos digitálneho audia (Dante, MADI, CobraNet, Ravenna a ďalšie^[10]) podporujú prenos ovládacích dát pre ovládanie routingu a ďalších nastavení prepojených digitálnych zariadení. Nebudeme sa nimi ďalej zaoberať vzhľadom na ich primárnu funkciu prenosu zvuku. Rovnako sa nebudeme zaoberať prenosom dát hudobného materiálu.

2.3.1. MIDI

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) bol štandardizovaný v roku 1983 ako komunikačný protokol pre digitálne ovládanie hudobných nástrojov a ich parametrov. Vyvíjaný firmami Roland, Oberheim Electronics a Sequential Circuits od roku 1981.

Protokol dokáže adresovať 16 kanálov po 128 CC (Control Change) parametrov v rozlíšení 7 bit (128 hodnôt). Parametre Pitch bend (ohýbanie výšky tónu), RPN (Registered Parameter Number) a NRPN (Non-Registered Parameter Number) je schopný prenášať v rozlíšení 14 bit (16384 hodnôt). ^[11, 12]

Sériová 8 bitová komunikačná linka pracuje na rýchlosti 31250 baud (bitov za sekundu), v prepočte približne 1041 štandardných MIDI správ za sekundu. Odoslanie jednej správy trvá 0.96ms, čo môže pri komplexnejšom ovládaní spôsobovať rozpoznatelnú latenciu medzi jednotlivými udalosťami. Komunikácia prebieha v režime master – slave, existuje vždy len jeden odosielateľ a jeden prijímateľ. MIDI nedisponuje zisťovaním ani korekciou chyby prenášaných dát.

2.3.2. Mackie HUI

Mackie a Digidesign vytvorili v roku 1997 proprietárnu špecifikáciu Mackie HUI (Human User Interface). Protokol je rozšírenie špecifikácie MIDI pre ovládače DAW (Digital Audio Workstation).

Okrem zvýšenia rozlíšenia faderov na 10 bit a ovládania ich pohybu pridáva tiež špecifické SysEx (System Exclusive) správy, ktoré umožňujú ovládať transport (Play, Stop a ďalšie), zobrazovať názvy ovládaných kanálov, úrovne signálu, timecode a ďalšie. ^[13]

2.3.3. EuCon

EuCon je proprietárny sieťový protokol vyvinutý firmou Euphonix a v roku 2006 prezentovaný na konferencii AES (Audio Engineering Society).

Okrem 12 bitového rozlíšenia pre všetky parametre tento protokol dokáže prenášať aj dáta pre myš a klávesnicu. Protokol využíva počítačový sieťový protokol TCP/IP, ktorý disponuje vysokými prenosovými rýchlosťami, kontrolou a opravou chýb prenosu.^[14] Výhodou je využitie existujúcej sieťovej infraštruktúry.

2.3.4. OSC

OSC (Open Sound Control) je otvorený komunikačný protokol pre počítače, syntetizéry a ďalšie multimedialne zariadenia vyvíjaný na UC Berkeley od roku 2004.

Tento protokol je cielený na rýchle moderné komunikačné linky a preto nevyžaduje vysokú bitovú hustotu dát ako MIDI. Jeho praktická implementácia využíva počítačový sieťový protokol UDP (má nižšiu latenciu ako TCP).

Prenos ovládacích dát sa deje v balíkoch, ktoré majú symbolickú adresu a názov, môžu obsahovať neobmedzené množstvo ďalších balíkov alebo dát v kvantitách 32 bit alebo 64 bit. ^[15]

OSC implementuje absolútny systémový čas používaný sieťovým protokolom, napríklad NTP (Network Time Protocol), ktorý sa prenáša spolu s balíkmi ovládacích dát vo forme timestamp (časové razítko), čo umožňuje synchronizovať uplatnenie ovládacích dát v konkrétnom balíku. ^[16]

2.3.5. OCA

OCA (Open Control Architecture) je otvorená a modulárna komunikačná architektúra štandardizovaná v roku 2016 ako AES70, vytvorená OCA Alliance ako nasledovník protokolu OCP vyvinutého firmou Bosch Communications Systems v roku 2009.

OCA komunikuje cez siete Ethernet (štandard 802.3) a Wi-Fi (štandard 802.11). Určená pre nastavovanie systémov a komunikáciu medzi nimi neprenáša audio, je možné ju použiť v kombinácií so štandardmi pre digitálny prenos zvuku ako AVB, AES67, Dante, Cobranet a ďalšími.

Ponúka možnosť zabezpečenia komunikácie pomocou TLS (Transport Layer Security), používanie viacerých ovládačov pre jedno ovládané zariadenie, grouping (ovládanie viacerých parametrov jedným ovládacím prvkom) a podporuje systémy od 2 do 10000 pripojených zariadení. ^[17]

2.4. Splitting, routing, a mapping

Úprava toku dát umožňuje vytvoriť systém, kde viacero ovládačov a ovládaných zariadení komunikuje medzi sebou. Splitting, routing, a mapping sú procesy, ktoré umožňujú odlišnú hĺbku spracovania ovládacích dát. Pre jednoduchosť budem príklady uvádzať na MIDI CC.

Splitter (zariadenie na rozvetvenie signálu, tiež tzv. MIDI Thru Box) plní jednoduchú úlohu duplikovať vstupné dáta na viacero výstupov. Router (zariadenie na smerovanie signálu) okrem rozvetvenia dokáže kombinovať viaceré vstupné signály na viacero výstupov. Jednoduché routery prenášajú celú MIDI komunikáciu zo vstupov na určené výstupy. Mapping (adresovanie) umožňuje výber kanálov, adres alebo ich rozsahov a ich priradenie ku kanálom,

adresám alebo ich rozsahom. Routery umožňujúce mapping dokážu meniť adresovanie MIDI správ, dáta analyzovať, filtrovať a kombinovať.

2.4.1. Mapping pri odosielaní

Ovládače môžu mať možnosť MIDI mappingu na výstupe. Dostupné zobrazenie alebo zoznam ovládacích prvkov umožňuje definovať, na ktorej adrese CC ovládací prvok odosiela svoju hodnotu. Táto možnosť je užitočná pre ovládanie zariadení, ktoré majú pevne nastavené adresy CC a musí sa im prispôbiť ovládač.

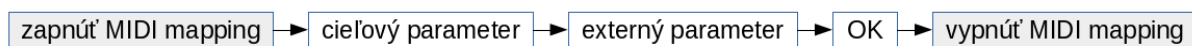


TouchOSC – aplikácia kustomizovateľného ovládača pre mobilné zariadenia s dotykovým displejom

2.4.2. Mapping pri príjme

Niektoré ovládané zariadenia majú režim MIDI mappingu na vstupe. Adresa prichodzej správy CC môže byť priradená k parametru bez nutnosti manuálne nastavovať číslo adresy, vybraním cieľového parametru a doručením

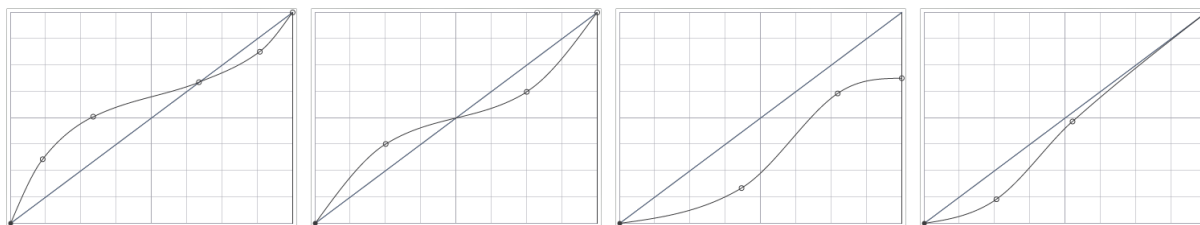
dát z ovládača (odoslaním CC správy). Ovládané zariadenie si zapamätá adresu správy CC pre vybraný parameter, ktorej prichádzajú hodnoty bude ďalej interpretovať ako hodnotu parametru.



Priebeh funkcie MIDI mapping

2.5. Konverzné krivky a reakcia na rýchlosť otočenia

Pri spájaní mechanického sveta so zvukovým reťazcom je výhodou digitálneho ovládania možnosť medzi hodnotou získanou z ovládacieho prvku a hodnotou aplikovanou uplatniť prevodné charakteristiky. Ovládače kustomizované pre daný účel a ovládače, ktoré sú priama súčasť ovládaných zariadení, môžu obsahovať úpravu prevodných charakteristík. Výstupom univerzálnych ovládačov je lineárna hodnota ovládacích prvkov, ktorá je upravená v prípade potreby až v ovládanom zariadení.



Prevodné charakteristiky, zľava: fader, panoráma, glide, attack / release

Os Y zobrazuje aplikovanú hodnotu parametru voči osi X, ktorá zobrazuje lineárnu hodnotu ovládacieho prvku.

Úprava prevodných charakteristík umožňuje napríklad pre fader zvýšiť rozlíšenie v kritickej oblasti okolo 0dB a upraviť priebeh pre nízke hodnoty signálu. Pre ovládanie panorámy bude vhodné zvýšiť rozlíšenie stredovej časti, nastavenie parametru Glide bude praktickejšie s rozšíreným detailom v nízkych hodnotách a skráteným rozsahom, pre parametre Attack a Release funguje rozšírenie spodnej polohy bez obmedzenia maximálneho rozsahu.

Digitálny signál z enkodérov umožňuje zistiť rýchlosť otáčania hriadeľu. Interpretácia rýchleho otočenia ako väčšej zmeny hodnoty parametru a otočenia pomalého ako menšej zmeny hodnoty parametru zvyšuje presnosť ovládania parametrov kriticky závislých na malých zmenách hodnôt. Takúto presnosť nie je možné dosiahnuť použitím potenciometra, kde je vzťah uhlu otočenia a zmeny hodnoty fixný.

2.6. Záznam a aplikovanie dát

Automatizácia je súhrn ovládacích dát, ktoré je možné zaznamenať alebo vygenerovať. Prehrávanie automatizačných dát ovplyvňuje parametre ovládaných zariadení v reálnom čase bez nutnosti meniť nastavenia manuálne.

Diskretizácia hodnôt pri spracovaní mikroprocesorom vytvára jednotlivé sample (hodnoty zaznamenané v presných časoch), ktoré sú ďalej filtrované v DAW pre obmedzenie množstva ukladaných dát a jednoduchšiu prácu s nimi.

Podľa spôsobu aplikácie hodnôt zaznamenaných v DAW sa líši okamžitá aplikácia hodnôt pre parametre pluginov (softwarových efektov a hudobných nástrojov), ktoré zmenu parametrov aplikujú vlastným spôsobom podľa typu parametru a aplikácia hodnôt pri zmene interných parametrov DAW, kde sa do procesu aplikácie pridáva úprava v podobe low-pass filtru, ktorý vytvorí plynulý prechod na novú hodnotu tak, aby nevznikali zvukové artefakty.

Automation Follows Edit je možnosť DAW, užitočná pri tvorbe elektronickej hudby a väčšine postprodukčných úprav, ktorá zabezpečuje posun automatizácie spolu s regiónmi (blokmi zvukov alebo MIDI) pri ich posune na timeline (časovej osi DAW).

2.7. Ucelené komunikačné prostredia

Komplexné riešenie generovania, routingu a ďalšieho spracovania kontrolných dát predstavujú vizuálne programovacie jazyky ako PureData^[18] a Max^[19]. Na báze objektov (základných programových jednotiek) umožňujú vytvoriť komplexné siete toku kontrolných dát a dát procesovaných v jednom prehľadnom prostredí.

3. Dizajn ovládačov

Efektívne používanie ovládačov závisí na mnohých faktoroch. Rozmery, tvary a logika usporiadania ovládacích prvkov, farebnosť a kontrastnosť popiskov, množstvo a prirodzenosť pohybov užívateľa, jednoduchosť zapojenia a nastavenia, praktické a prehľadné použitie spätnoväzobných prvkov a tiež opraviteľnosť funkčnosti ovládača podľa konkrétneho využitia.

3.1. Workflow

Workflow sa dá definovať ako súbor krokov a procesov optimalizovaných pre zvýšenie produktivity (zníženie času a ceny pri dosiahnutí optimálneho výsledku). V oblasti digitálnych ovládačov audio zariadení sa dá workflow interpretovať ako možnosti ovládačov a ovládaných zariadení, ktoré umožňujú požadované úpravy zvládnuť prehľadne, v kratšom čase a vedú k uspokojivému zamýšľanému výsledku. ^[20]

3.2. Ergonómia

Ergonómia je aplikovaná veda zaoberajúca sa dizajnom pracovísk a zariadení za účelom zníženia únavy a zvýšenia bezpečnosti používateľa pri práci. ^[21] Pre digitálne ovládače audio zariadení sa jedná, podobne ako pre všetky ostatné HUI, o výber ovládacích a spätnoväzobných prvkov vhodných pre danú aplikáciu, ich rozloženie, tvary, rozmery a použité materiály.

Mechanická odozva použitých ovládacích prvkov významnou mierou ovplyvňuje efektívnosť práce. Rozdiely sú dobre viditeľné na tlačidlách, kde mechanické tlačidlá s klikom a bez kliku, tlačidlá kovové, plastové, silikónové a tlačidlá na odporových a kapacitných dotykových plochách sa líšia pohybom prstu pri stlačení a silou stlačenia.

Hmatový vnem pri stlačení tlačidla s mechanickou spätnou väzbou užívateľ podvedome vyhodnotí ako úspešné stlačenie, odpadá nutnosť kontrolovať správnosť úkonu. Chýbajúca mechanická odozva pri ovládaní dotykom je nahradzovaná vibráciami. ^[22]

Kombináciou vhodných materiálov, rozmerov a tvarov je možné vytvoriť ergonomické ovládače vhodné pre daný účel. Mechanická odozva sa uplatňuje aj

pri ovládačoch hudobných nástrojov, kde vyváženosť klaviatúry a ďalšie mechanické vlastnosti ovládacích prvkov menia štýl hry a výsledky kreatívneho procesu. Kvalitné materiály dokážu prácu s ovládačom spríjemniť.

3.3. Rozmery, rozloženie, intuitívnosť a prehľadnosť

Rozmery ovládača sú dané jeho účelom a množstvom a rozmermi použitých ovládacích a spätnoväzobných prvkov. Ovládač určený na časté prenášanie bude kompaktnější, jeho ovládacie prvky zhustené a jeho hmotnosť bude nižšia. Ovládač určený na pevnú inštaláciu bude ctíť ergonómiu, funkčnosť a prehľadnosť ovládania pred hmotnosťou a rozmermi.

Výber a rozloženie ovládacích prvkov sa z časti riadi historickými zvyklosťami, výnimky sú v oblasti tvorby elektronickej hudby, kde sa dizajn ovládačov riadi rozložením ovládacích prvkov software.^[3]

Ovládač hlasitosti sluchátkového výstupu benefituje z absolútnej polohy potenciometra, zatiaľ čo panel digitálneho ekvalizéru, ktorý ovláda aktuálne vybraný kanál bude praktickejší s enkodérmi. Ovládacie prvky s jednou funkciou zaisťujú rýchlu a intuitívnu prácu s ovládačom pre parametre ktoré musia byť vždy dostupné (Mute, Pitch bend, prepínače vrstiev a podobne).

3.3.1. Vrstvenie parametrov

Pre zmenšenie rozmeru ovládača je vhodné vrstvenie parametrov, kedy skupina ovládacích prvkov ovláda viaceré parametre podľa aktuálneho výberu. To umožňuje ovládať malým počtom ovládacích prvkov veľké množstvo parametrov, ktoré nemusia byť dostupné zároveň. Možnosť definovať obsah vrstiev užívateľom znižuje časté prepínanie vrstiev.

Jeden ovládací prvok môže ovládať viac typov parametrov, napríklad fader môže ovládať hlasitosť výstupu, hlasitosť aux send (pomocného výstupu) alebo hlasitosť frekvenčného pásma grafického ekvalizéru.



Súvis GUI a ovládacích prvkov na Digico SD8

Vrstvenie parametrov sprehľadňujú signalizačné LED, farebné podsvietenie alebo malé displeje s premenlivými popiskami. V prípade použitia veľkého

displeja ako hlavného komunikačného prostriedku sa ovládacie prvky viažu ku GUI a sú usporiadané okolo displeja tak, aby nadväzovali na logické usporiadanie GUI, ktoré sa spätne viaže na fyzické rozmery použitých ovládacích prvkov.

3.3.2. Skeuomorph

Skeuomorph je napodobovanie vizuálu historických hardwarových prístrojov pre ich softwarové kópie za účelom navodenia pocitu, ako pri používaní originálov týchto prístrojov. Zobrazenie realistických podobizní ovládacích prvkov aj bez návaznosti na historické prístroje uľahčuje užívateľom proces nastavovania parametrov bežných zvukových procesorov. Skeuomorph sprehráďňuje zobrazenie veľkého množstva parametrov a ich hodnôt. Otočenie virtuálneho "koliečka" alebo potiahnutie "faderu" je viac prepojené s užívateľovým očakávaným vnemom následnej zmeny zvuku, ktorá je realistickejšia ako pri číselnej zmene parametrov.

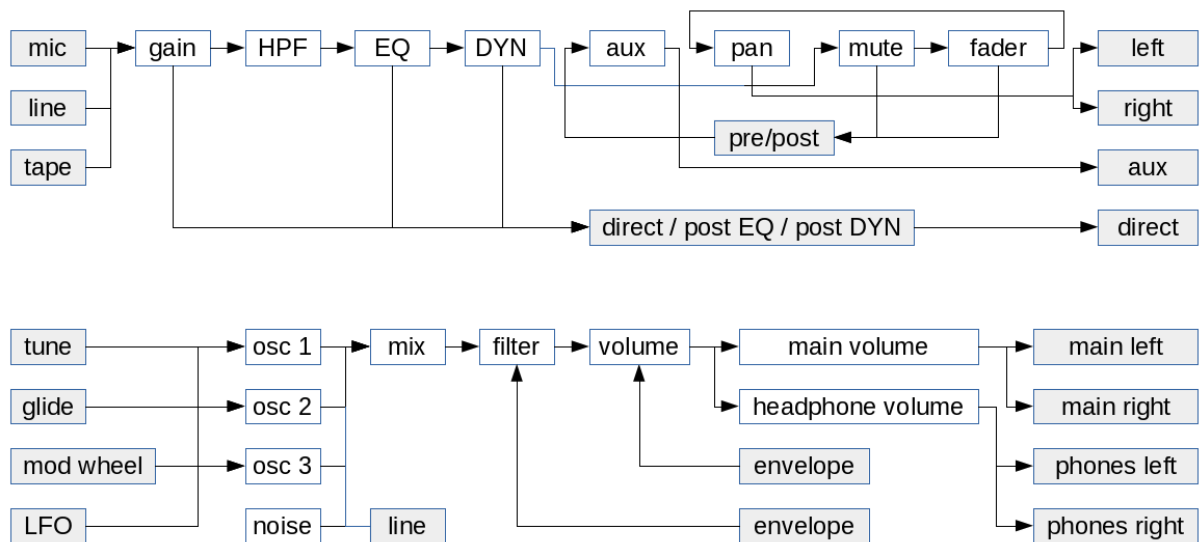


Skeuomorph GUI pluginu Universal Audio API Vision Console Channel Strip

Skeuomorph sa vytráca z moderných ovládačov a software, ktoré ponúkajú možnosti nedostupné na hardwarových prístrojoch. Potreba prehľadne zobrazíť funkčnosť nových zvukových procesorov a generátorov zvuku prináša výzvu vyvíjať GUI, ktoré sú ľahko pochopiteľné a zároveň inštruktážne popisujú funkčnosť. [3]

3.3.3. Klasický a moderný signal flow

Praktický a historicky podmienený prístup k tvorbe a spracovaniu zvuku vytvoril signal flow (postup signálu) analógových prístrojov, ktorý definuje štandardné rozloženie ovládacích prvkov. Zachovanie štandardného signal flow zvyšuje prehľadnosť a intuitívnosť ovládania pri štandardnom spracovaní zvuku.



Štandardný signal flow mixpultu (hore) a syntetizéru (dole)

Komplikovanejší signal flow pochádza z modulárnych syntetizérov a DAW. Užívateľ môže pridávať zdroje zvuku a efektové procesory v ľubovoľnom poradí podľa zámeru spracovania. Takto vznikajú neštandardné signal flow, ktoré sa na typických digitálnych ovládačoch a zariadeniach nedajú napodobiť.



Neštandardný signal flow v Ableton Live

3.3.4. Osvetlenie ovládacej plochy

Ovládače určené pre použitie v nedostatočne osvetlených prostrediach majú možnosť pripojenia externého osvetlenia, podsvietené popisky, podsvietené ovládacie prvky, alebo sú celé postavené na GUI s dotykovým panelom. V ideálnom prípade je osvetlenie doplnené o nastavenie jasu. Ovládače s dobre osvetleným a kontrastným povrchom sú vhodné pre živé hranie a živé spracovanie zvuku.

4. Vznik a životnosť ovládačov

Digitálne ovládače audio zariadení vznikajú rovnako ako väčšina produktov na základe tržného dopytu a na základe presvedčenia tvorcov o užitočnosti ich riešenia. Životnosť a tržnú hodnotu ovládačov okrem softwarovej podpory, univerzálnosti riešenia a kvality konštrukcie podporuje hlavne dizajn.

4.1. Možnosti ovládania

Najväčší prevrat spôsobujú OSC a OCA, otvorené komunikačné štandardy, ktoré sú vhodné nielen pre ovládanie audio zariadení.

OSC prináša praktický prenos dát vo vysokom rozlíšení a dokáže byť spätne kompatibilný so staršími štandardmi, ktoré dokáže prenášať vo svojej rozšíriteľnej dátovej štruktúre, mimo ktorej nie je ďalej špecifikovaný.^[15]

Štruktúra OCA je pomerne dobre vypracovaná, rovnako dobre rozšíriteľná a určená k zvýšeniu kompatibility budúcich audio a video zariadení.^[17] OCA ponúka základ komunikácie medzi aplikáciami DAW – DAW aj na viacerých zariadeniach.

4.2. Prístupy k vývoju ovládačov

Vývoj digitálnych ovládačov audio zariadení sa pohybuje v dvoch veľmi odlišných prostrediach, proprietárne prostredie veľkých korporátnych firiem orientované na zisk a otvorené komunitné prostredie orientované na záujmy tvorcov. Obe prostredia majú svoje výhody a vzájomne sa dopĺňujú.

4.2.1. Korporátne prostredie

Korporátne prostredie veľkých firiem má k dispozícii finančné zdroje, dobre platených odborníkov a adekvátne technické vybavenie na rýchly vývoj a testovanie nových nápadov.

Prostredie má stromovú štruktúru zamestnancov, kde zamestnanci sú motivovaní platom a kariérnym rastom. Kreativita vývojárov ovládačov audio zariadení ide na úkor úloh, ktoré dostávajú od marketingového oddelenia firmy.

Možnosti ovládačov musia zodpovedať marketingovej stratégii a tržným cenám za účelom predĺženia obdobia návratnosti investície. Pri tvorbe nového

produktu do série už existujúcich produktov sú jeho možnosti vyberané tak, aby zodpovedali jeho umiestneniu v konkrétnej sérii produktov. Preferovaná vysoká návratnosť investície obmedzuje kvalitu nových produktov použitými ovládacími prvkami a materiálmi.

Produkty veľkých firiem majú často výbornú softwarovú podporu, sú adekvátne testované a je pre ne dostupný rýchly servis a náhradné diely.

4.2.2. Komunitné prostredie

Komunita nezávislých vývojárov má horšie technické vybavenie, pracuje vo voľnom čase a má v porovnaní málo financií, ktorými je dostupnosť nových i starších technológií čiastočne obmedzená.

Vývojári pracujú v kolektíve sebe rovných a sú motivovaní svojimi nápadmi. Ich kreativita plynie z nedostatočných možností komerčne vyrábaných ovládačov. Návratnosť investície nie je vzhľadom na nižšie prevádzkové náklady menšej skupiny veľmi dôležitá, čo umožňuje použitie kvalitnejších ovládacích prvkov a materiálov zodpovedajúcim zámeru a predstavám.

Vývojári neustále skúšajú nové možnosti ovládania, preto ovládače tvorené komunitou často prichádzajú s inovatívnymi riešeniami. Vývoj ovládačov prebieha na bázi FOSS (Free and Open Source Software), ktorý znižuje cenu a zvyšuje rýchlosť vývoja bezplatným použitím software a hotových častí kódu.

Testovanie ovládačov prebieha priamo používaním a riešenie prípadných problémov je zrýchlené podporu komunity.

4.2.3. Ideálne prostredie

Prostredie veľkej firmy disponuje novými technológiami, rýchlym riešením problémov a dobrou kontrolou kvality software a hardware. Komunitné prostredie vyniká v kreativite a rýchlosti vývoja vďaka open source kódu.

Ideálnym prostredím môže byť menšia firma, ktorá má potrebné technické zázemie, môže si dovoliť používať technológie a zároveň dbá na výsledky vývoja v komunitnom prostredí, ktoré spoľahlivo nájde nedostatky v komerčne dostupných produktoch.

Podporou vývoja open source technológií si firma vytvára platformu pre svoje zariadenia a rozširuje budúci trh.^[23]

Inovatívne a kompatibilné produkty malej firmy môžu mať vyššiu cenu, ktorá zodpovedá nákladom na výrobu v malom množstve, a stále byť pre užívateľov lákavé.

4.3. Modularita a rozšíriteľnosť

Modularita digitálnych ovládačov umožňuje vybrať si potrebné komponenty a vytvoriť z nich ovládací systém na mieru. Rozšíriteľnosť modulárneho systému je možná horizontálne – čo do počtu ovládacích prvkov a vertikálne – vylepšením parametrov systému.

Pri rozšíriteľných modulárnych systémoch nie je nutné kupovať celý systém znova, čo znižuje náklady. Čas potrebný na rozšírenie systému je oveľa nižší ako čas potrebný na inštaláciu systému nového, čo skracuje čas odstávky. Úsilie potrebné na uvedenie do prevádzky je minimálne, netreba sa učiť spravovať nový systém.

Dostupnosť menšieho profesionálneho modulárneho systému za prijateľnú cenu a jeho jednoduché rozšírenie podľa potreby v budúcnosti zvyšuje a udržuje jeho tržnú hodnotu.

Nevýhodou modulárnych systémov je vyššia minimálna cena vzhľadom na komunikačné požiadavky, mechanickú konštrukciu a náročnosť vývoja.

4.4. Zabezpečenie investície

Dlhú životnosť ovládačov zabezpečuje softwarová kompatibilita, zvýšená konštrukčná a elektronická odolnosť, modularita a rozšíriteľnosť. Dôležitú úlohu zohráva priemyselný a produktový dizajn, ktoré do výsledného vzhľadu ovládača implementujú ergonómiu, estetiku a čistotu tvarov.^[24] Kvalitný dizajn vytvára emočnú naviazanosť užívateľa na produkt.

Vysokú pozornosť dostávajú ovládače s otvoreným software. Verejne dostupný zdrojový kód software a hardware umožňuje programátorom nájsť chyby a vylepšiť funkcionality. Pri zániku výrobcu nezaniká možnosť budúcej softwarovej podpory tretími stranami. Komerčne dostupný ovládač pre software Ableton Live s otvoreným kódom je napríklad Novation Launchpad Pro^[25], zariadenia ovládané pomocou OSC a JSON (JavaScript Object Notation) cez

Ethernet a HTTP (Hypertext Transfer Protocol) s verejne dostupnými ovládacími příkazmi sú napríklad zvukové karty Motu série AVB.^[26]

Záver

Prechodom na OSC sa zvýši výskyt ovládačov s ethernetovým dátovým pripojením, čo pomôže zvyšovať ich modularitu a schopnosť pripojenia k audio zariadeniam. Výrobcov čaká nutnosť rozšíriť aplikácie a ďalšie audio zariadenia o extenzívnu komunikáciu o svojich parametroch a parametroch pluginov v nich spustených, podobne ako dokáže svoje parametre komunikovať modulárny software a hardwarové modulárne syntetizéry. Mierna zmena v ovládaní hardwarových modulárnych syntetizérov môže nastať vytvorením komunikácie s modulárnym software a modulárnymi ovládačmi, čo umožní komplexné ovládanie hardwarových modulov.

Užívateľ si bude môcť vytvoriť z hardwarových a softwarových ovládačov a hardwarových a softwarových hudobných nástrojov a efektových procesorov jeden ucelený systém. Hardwarové ovládače budú vedieť reagovať na zmeny a potreby užívateľa a budú schopné vytvoriť presný obraz signal flow, tak ako to dnes dokážu softwarové ovládače prostredníctvom dotykovej obrazovky, čo obmedzí výskyt zbytočných ovládacích prvkov pri zmene požiadaviek na ovládanie.

Ovládanie prostredníctvom 3D užívateľských prostredí NUI a RUI vytvorí nové možnosti sebarealizácie umelcov pri živých vystúpeniach a umožní kontextuálne ovládanie mnohých parametrov, kde využitie pohybu a reálií prostredia bude klásť väčší dôraz na scénografiu a ovládanie vizuálnej zložky spolu so zložkou zvukovou.

Zoznam odkazov

- [1] KULKARNI Sanjeev Ramesh. ELE 201: Information Signals – Course Notes. *www.princeton.edu*. [online]. 2015 [cit. 2016-04-20].
Dostupné z: <https://www.princeton.edu/~cuff/ele201/kulkarni.html>
- [2] Programmables. *www.nkkswitches.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22].
Dostupné z: <http://www.nkkswitches.com/products/oled-lcd-programmables/>
- [3] BELL Adam, Ethan Hein a Jarrod Ratcliffe. Journal on the Art of Record Production. *www.arpjournal.com*. [online]. April, 2015 [cit. 2016-04-24]. ISSN 1754-9892. Dostupné z: <http://arpjournal.com/beyond-skeuomorphism-the-evolution-of-music-production-software-user-interface-metaphors-2/>
- [4] PGFM9000 – Linear Motorised Fader. *www.cw-industrialgroup.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-19].
Dostupné z: <http://www.cw-industrialgroup.com/Products/Faders/Linear-Motorised-Fader-PGFM9000.aspx>
- [5] SoftPot Membrane Potentiometer. *www.spectrasymbol.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-24].
Dostupné z: <http://www.spectrasymbol.com/potentiometer/softpot>
- [6] Arduino – A Basic Theremin. *luckylarry.co.uk*. [online]. 7.11.2009 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://luckylarry.co.uk/arduino-projects/arduino-a-basic-theremin/>
- [7] HSIAO, Kai-Yuh a Joseph Paradiso. A New Continuous Multimodal Musical Controller Using Wireless Magnetic Tags. *web.mit.edu*. [online]. 1999 [cit. 2016-04-20].
Dostupné z: http://resenv.media.mit.edu/pubs/papers/99_10_ICMC_Tags.pdf
- [8] Reactable Live! S6. *www.reactable.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22].
Dostupné z: <http://reactable.com/live/>
- [9] Grey Code. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Gray_code

- [10] Comparison of audio network protocols. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_audio_network_protocols
- [11] Summary of MIDI Messages. *www.midi.org*. [online]. 21.4.2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <https://midi.org/specifications/item/table-1-summary-of-midi-message>
- [12] REES Philip. MIDI Non-Registered (and Registered) Parameters. *www.philrees.co.uk*. [online]. 2000 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.philrees.co.uk/nrpnq.htm>
- [13] COLLINS Mike. Mackie HUI. *www.soundonsound.com: Control Surface For DAWs*. [online]. December 1998 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.soundonsound.com/sos/dec98/articles/mackiehui.143.htm>
- [14] MILNE, Steve, Campbell Phil, Freshour Scott, Boyer Rob, McTigue Jim a Kloiber Martin. EuCon: An Object-Oriented Protocol for Connecting Control Surfaces to Software Applications. *www.avid.com*. [online]. 2006 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: http://www.avid.com/static//resources/common/documents/euph_aes_eucon_paper_oct06.pdf
- [15] WRIGHT Matthew, Adrian Freed. Open SoundControl. *www.berkeley.edu: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers*. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://archive.cnmat.berkeley.edu/ICMC97/papers-html/OpenSoundControl.html>
- [16] Network Time Protocol. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol
- [17] Technology. *www.ocaalliance.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://ocaalliance.com/technology/>
- [18] Pure Data. *www.puredata.info*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: www.puredata.info

- [19] About Max. *www.cycling74.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <https://cycling74.com/products/max>
- [20] SHERBURNE Cary. Workflow. *www.printingnews.com: What Does it Really Mean?*. [online]. 28.1.2009 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.printingnews.com/article/10265674/workflow-what-does-it-really-mean>
- [21] Ergonomics. *www.merriam-webster.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.merriam-webster.com/dictionary/ergonomics>
- [22] Introduction to Haptic Feedback. *www.precisionmicrodrives.com*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <https://www.precisionmicrodrives.com/haptic-feedback/introduction-to-haptic-feedback>
- [23] RIEHLE Dirk. The Economic Case for Open Source Foundations. *www.dirkriehle.com*. [online]. January 2010 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://dirkriehle.com/publications/2010-2/the-economic-case-for-open-source-foundations/>
- [24] Future proof. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Future_proof
- [25] Open source firmware for the Launchpad Pro grid controller. *www.github.com*. [online]. 12 February 2015 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <https://github.com/dvhdr/launchpad-pro>
- [26] MOTU.com – AVB. *www.motu.com*. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <https://www.motu.com/avb>