

Umelá inteligencia a hudba

Peter Budai

Umelá inteligencia¹ (ďalej len UI) ako relatívne nová technológia našla svoje využitie v mnohých priemyselných odvetviach. Pomerne rýchlo sa osvedčila tiež v multimediálnej oblasti, napríklad na rozpoznávanie tváre, na odstránenie červených očí na fotkách alebo na autostabilizáciu videa. Aj v hudobnej produkcii a postprodukcii je možné badať postupný rozvoj umelej inteligencie, avšak jej algoritmy sa zatiaľ nepovažujú za štandardné nástroje audiopriemyslu.

Náčrt historického vývoja umelej inteligencie

Od dávnych čias ľudia snívajú o stavbe „umelých tvorov“. S prvou víziou o mysliacom stroji sa stretávame už u starých Egypťanov v období asi pred 4500 rokmi. Avšak prvá písomná zmienka o umelej inteligencii sa vyskytla až v Homérovom diele *Illiada* z 8. storočia p. n. l.² V tomto epose boh Hefaistos zo zlata skonštruoval sluhov, ktorí sa dokázali pohybovať a hovoriť. Podobne ako Egypťania či Gréci, aj vynálezcovia ďalších civilizácií a období sa snažili vdýchnuť život neživým predmetom.³ S príchodom priemyselnej revolúcie začali filozofi ako René Descartes (1596 – 1650) a Wilhelm Leibnitz (1646 – 1716) uvažovať o tom, či by sa ľudské myslenie dalo vyjadriť matematickou formou. Túto myšlienku neskôr nepriamo rozvinul Allen Newell (1927 – 1992) a Herbert A. Simon (1916 – 2001) do hypotézy fyzického symbolového systému, ktorá sa stala základnou filozofiou všetkých výskumov umelej inteligencie. Poukázali na to, že ľudská inteligencia je len manipulácia so symbolmi a objektmi formálnej logiky, teda – ak stroj dokáže manipulovať so symbolmi, môže aj on „myslieť“.⁴

Americkí vedci Warren Sturgis McCulloch (1898 – 1969) a Walter Harry Pitts (1923 – 1969) v roku 1943 publikovali článok opisujúci matematický princíp fungovania neurónov.⁵ Tento model sa tiež nazýva logický neurón,⁶ pretože jeho výstup môže mať iba logické hodnoty 0 a 1. Treba tiež poznamenať, že k objavu biologických neurónov došlo už skôr vďaka španielskemu lekárovi Santiagovi Ramónovi y Cajalovi (1852 – 1934), ktorý za svoj objav v roku 1906 získal Nobelovu cenu. Warren S. McCulloch a Walter H. Pitts inšpirovali ďalších vedcov k myšlienke, že ak sa dajú vyrobiť umelé neuróny, tak jedného dňa bude možné vyrobiť celý umelý mozog.⁷

Pre napredovanie vývoja UI bolo potrebné splniť určité podmienky. Prvou bola motivácia, ktorá už ovládla značnú časť vedeckého tábora. Druhou podmienkou bola schopnosť vyjadriť myšlienku v podobe matematickej formuly. Treťou podmienkou bola existencia dostatočne výkonného počítača a poslednou, nie menej dôležitou podmienkou, bolo financovanie. Len za predpokladu súladu všetkých štyroch podmienok bolo možné vo vývoji napredovať. Súkromným investorom sa, pochopiteľne, nechcelo investovať tolké sumy do neistých výsledkov a dotácie od štátnych sponzorov neboli dostačujúce. Tieto obdobia slabších alebo silnejších finančných podpôr v dejinách vývoja UI nazývame tiež „zimy“ a „letá“ v histórii jej vývoja.⁸

Moderná história UI sa začala písať v prvej polovici 20. storočia, keď britský matematik a počítačový vedec Alan Turing (1912 – 1954)⁹ zostrojil koncept univerzálneho stroja (počítača) na riešenie viacerých problémov, nazývaný tiež *Turingov stroj*. V očiach bežných ľudí sa Turing preslávil návrhom stroja, ktorý dokázal určiť aktuálne nastavenia nemeckého vojnového šifrovacieho stroja *Enigma*. Turing rozmyšľal nad tým, ako dokázať, že stroj myslí. Táto úvaha bola neskôr známa ako *imitačná hra*.^{10,11}

Turingovým súčasníkom bol ďalší významný vedec maďarského pôvodu – John von Neumann (1903 – 1957), ktorý sa zaslúžil o návrh štruktúry počítača, ktorá sa s miernymi zmenami používa dodnes.¹² Už počas Turingovho života sa začal vývoj prvých elektronických počítačov, ktoré však dokázali program len vykonávať, nedokázali ho uchovávať v pamäti.

To sa zmenilo v polovici 50. rokov 20. storočia, keď na tento vývoj zareagovala skupina matematikov a informatikov sústredených okolo Johna McCarthyho.¹³ Termín „umelá inteligencia“ po prvý raz použil John McCarthy (1927 – 2011) a Marvin Minsky (1927 – 2016) spolu s ďalšími vedcami počas konferencie na Dartmouth College¹⁴ v roku 1956. Po kritike ďalších vedcov a na základe správy Jamesa Lighthilla (1924 – 1998)¹⁵ však vláda financovanie výskumu UI zastavila, a tak nastalo tzv. prvé obdobie zimy UI.¹⁶

V roku 1958 Frank Rosenblatt (1928 – 1971) z Cornell University navrhol prepojiť viaceré umelé neuróny do tzv. *neurónovej siete*,¹⁷ ktorú nazval *perceptrón*¹⁸ (percepcia, vnímanie). V roku 1960 sa mu podarilo túto sieť zrealizovať na počítači *MARK I*. Frank Rosenblatt vytvoril maticu 20 x 20 svetlocitlivých buniek simulujúcich sietnicu ľudského oka. Pomocou jednoduchého algoritmu tréningovania naučil túto umelú neurónovú sieť rozpoznávať jednoduché obrázky a znaky. Tento vývoj neskôr viedol k vzniku umelých neurónových sietí ako ťažiskovej oblasti UI.

Marvin Minsky a Seymour Papert (1928 – 2016) neskôr rozvíjali myšlienky McCullocha, Pittsa aj Rosenblatta. Dokázali, že vtedajšie formy umelých neurónových sietí boli v praxi použiteľné len veľmi obmedzene, a tak snahy v oblasti umelých neurónových sietí na ďalšie roky ochabli. Financovanie výskumu sa obnovilo opäť v 80. rokoch 20. storočia, pretože západné krajiny chceli dobehnúť pokrok japonskej vlády a jej iniciatívy vo vytvorení UI. Nedostatok výpočtovej kapacity na spracovanie zložitých výpočtov však zapríčinil opätovné zastavenie financovania vývoja.¹⁹

Jednou z nových myšlienok vo vývoji UI bolo napodobňovanie schopností kvalifikovaných a skúsených expertov. Expertné systémy (ďalej len ES) sú programy, ktoré pracujú s informáciami získanými od odborníkov z rozličných oblastí. Tieto informácie ukladajú do pamäte a na ich základe neskôr napodobňujú rozhodnutia expertov.²⁰

Napriek tomu, že ES existovali už od roku 1965, až ďalší výskum ES prispel k rozvoju UI. Prvé ES sa začali používať na účely diagnostiky (*Micyn*) v medicíne a na identifikáciu

organických molekúl (*Dendral*), neskôr aj na technické a konštrukčné účely. K rozšíreniu ES prispelo aj uvedenie na trh prvého osobného počítača IBM PC (International Business Machines Personal Computer) s mikroprocesormi Intel a s operačným systémom MS DOS v roku 1981. Verzie tohto operačného systému sa rozvíjajú dodnes. Podstatou PC od firmy Microsoft bola jednoduchá obsluha a dostupnosť pre širokú verejnosť.²¹ Okrem užitočnej funkcionality pre kancelárske a vedecko-technické použitie sa PC stal tiež nástrojom na prístupovanie ES.

Začiatkom 80. rokov sa Japonci popri rozvoji ES snažili rozbehnúť nový vývoj piatej generácie počítačov.²² Ich cieľom bolo dosiahnuť vzájomné porozumenie medzi počítačom a ľudskou rečou. ES vedeli rozpoznávať ľudskú reč, prekladať cudzie jazyky alebo uvažovať ako človek. Objavili sa nové metódy učenia umelých neurónových sietí na základe tzv. algoritmu „back-propagation“, čiže spätného šírenia chyby, autorom ktorého bol Hinton Rumelhart (1942 – 2011). Tieto metódy ukázali, že neurónové siete sú efektívnym nástrojom na riešenie zložitých problémov a dokážu sa učiť podobne ako človek. Dnes umelé neurónové siete predstavujú najsilnejší nástroj strojového učenia.²³

Synergické efekty pokroku vo výpočtovom výkone, veľké množstvo dát (nazývaných *big data*) a teoretické výskumy umožnili nebývalý pokrok v oblasti umelej inteligencie a jej využitie v komerčných produktoch.²⁴

Výkonnejšie algoritmy UI začali postupne vnikáť do oblasti dopravy, priemyslu, zdravotníctva, služieb a zábavy. Významný pokrok zaznamenala aj robotika, ktorá v sebe sústreďuje široké spektrum zručností – od vnímania prostredia, práce so znalosťami a rozhodovania sa až po reálne akcie – a to všetko v reálnom čase.²⁵

UI je dnes už stálou súčasťou nášho každodenného života. Náhla dostupnosť veľkého množstva údajov a široká dostupnosť počítačových systémov, ktoré dokážu všetky tieto údaje spracovať rýchlejšie a presnejšie než ľudia, umožňuje vývoju UI napredovať omnoho rýchlejšie než v 20. storočí. UI dopĺňa slová pri písaní, zadáva pokyny pri jazde autom, vysáva podlahy, alebo odporúča, čo by sme si mali kúpiť. UI pomáha aj kvalifikovaným odborníkom v rôznych odboroch činností vykonávať prácu rýchlejšie a s väčším úspechom. Využíva sa aj pri riadiacich aplikáciách, napríklad pri analýze lekárskeho obrazu.²⁶

Vzostupný trend UI pretrváva a v súčasnosti bolo toto obdobie pomenované už ako tretia vlna UI, alebo aj tretie leto UI, a to predovšetkým kvôli jej komercializácii. V poslednom dvadsaťročí sa k problematike UI vyjadrovalo mnoho odborníkov aj vlastníkov veľkých firiem ako Tesla, Facebook (Meta), ale mnoho priveľmi optimistických vízií sa doposiaľ nepodarilo splniť. Opäť sa teda hovorí o novej zime UI. Vzhľadom na dôležitosť hlbokého učenia a veľkých dát v technológii je ťažké predstaviť si, že financovanie týchto domén v dohľadnej dobe ustrie. To, čo však dnes môžeme vidieť, je druh jesene UI, keď výskumníci múdro prekalibrovávajú svoje očakávania a prehodnocujú svoje vízie.^{27, 28}

Základy umelej inteligencie

V informatike sa výrazom UI označuje akákoľvek inteligencia podobná človeku, ktorú vykazuje počítač, robot alebo iný stroj. V populárnom použití pojmu sa UI vzťahuje na schopnosť počítača alebo stroja napodobňovať schopnosti ľudskej mysle – učiť sa z príkladov a skúseností, rozpoznávať objekty, porozumieť ľudskej reči, reagovať, rozhodovať sa alebo riešiť problémy.²⁹ Pod týmto výrazom sa taktiež rozumie štúdium

výroby strojov, ktoré majú niektoré vlastnosti ľudskej mysle, napríklad schopnosť porozumieť jazyku, rozpoznávať obrázky, riešiť problémy a učiť sa.³⁰

UI odkazuje na inteligenciu³¹ ako na niečo známe a naznačuje dôraz na hľadanie jej umelej realizácie. Predmet skúmania sa však vyhýba presnému určeniu, čo je to inteligencia. Tento rozpor medzi názvom a predmetom skúmania vyvoláva mnoho pochybností o tom, čo to UI je.³²

Vyšli desiatky definícií UI a v každej monografii alebo štúdiu sa líšia. Heterogénnosť definícií možno odôvodniť aj relatívnou „mladosťou“ disciplíny, v dôsledku ktorej úplná zhoda nevládne ani v základných otázkach.³³

Metodicky cenné roztriedenie rôznych definícií v roku 2009 urobil Stuart Russel (*1962) a Peter Norvig (*1956). Autori rozlišujú dva rozmery:

- Či ide o myšlienkové procesy a usudzovanie, alebo o správanie sa.
- Či sa hodnotí úspech podľa podobnosti s ľudským konaním, alebo s ideálnou predstavou o inteligencii, tzv. racionálnosťou. Systém je racionálny, ak robí správnu vec.

Opísaný spôsob triedenia naznačuje štyri možné pohľady:

- systémy, ktoré myslia ako ľudia,
- systémy, ktoré konajú ako ľudia,
- systémy, ktoré myslia racionálne,
- systémy, ktoré konajú racionálne.

K dosiahnutiu umelej inteligencie, ktorá rieši komplexné problémy, existuje niekoľko prístupov. Kombinácia viacerých algoritmov slabej UI³⁴ z iných sfér môže byť podľa niektorých výskumníkov jedným zo spôsobov. Ďalším skúmaným prístupom je simulácia mozgu. Pomocou najnovších poznatkov z oblasti nanotechnológie³⁵ a neurovedy³⁶ by jedného dňa reverzné inžinierstvo mozgovej štruktúry mohlo prísť na to, ako mozog funguje, a následne ho vytvoriť.³⁷

Typy umelej inteligencie

Existuje viacero rozdelení UI na základe prístupu z mnohých hľadísk. Z nášho pohľadu je dôležité rozdelenie z hľadiska spôsobu riešenia problémov. Zvuková postprodukcia je špecifická činnosť, pre ktorú je potrebné osvojiť si určitý druh vedomostí a zručností. Rôzne typy aplikácií UI v sebe zahŕňajú aj tzv. slabú alebo úzku umelú inteligenciu. Teda, ak sa rozprávame o UI v oblasti hudobnej produkcie alebo zvukovej postprodukcie, hovoríme o úzkej umelej inteligencii, keďže jej funkcionálna je aplikovaná na jeden druh činnosti.³⁸

Okrem úzkej UI poznáme tiež všeobecnú UI, nazývanú „plnú“. Je to svätý grál výskumu UI. Stroj s takýmto rozsahom môže svojimi schopnosťami vnímať, reagovať a vykonávať všetky intelektuálne činnosti človeka.³⁹

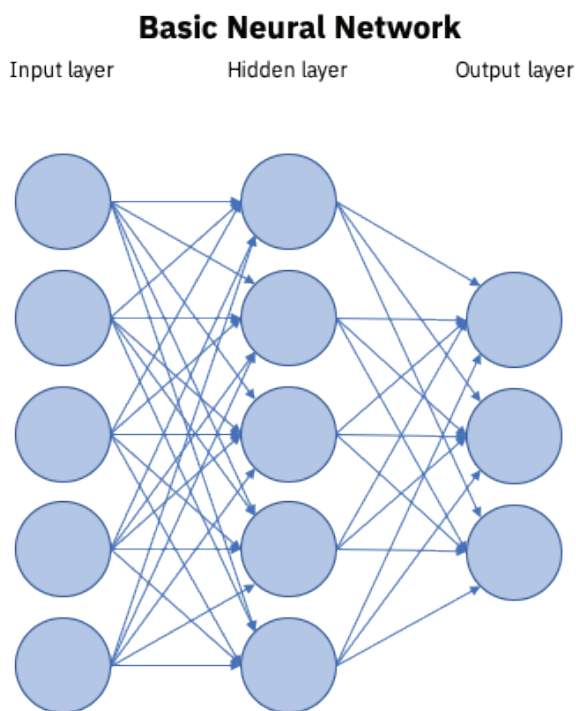
Domény umelej inteligencie

a) *Strojové učenie a hlboké učenie*

Ak hovoríme o UI, je nutné, aby sa *inteligentný agent*⁴⁰ vedel učiť. Jednou z častých výhrad voči UI je, že sa stroje len ťažko môžu považovať za inteligentné, pokiaľ sa nedokážu naučiť nové vedomosti a prispôbiť sa novým situáciám.⁴¹

Algoritmus umelej inteligencie je možno rozdeliť do dvoch základných vrstiev. Prvá vrstva je **strojové učenie** (angl. *machine learning*). Algoritmus strojového učenia je založený na princípe neurónovej siete (Obr. 1), čo je sieť algoritmických výpočtov, ktoré sa snažia napodobniť proces vnímania a myslenia ľudského mozgu. Základná neurónová sieť je zložená z nasledujúcich prvkov:

1. vstupná úroveň – pri ktorej údaje vstupujú do sietí;
2. skrytá úroveň – kde algoritmy strojového učenia spracúvajú vstupy a výstupy, používajú váhy, predpätia a prahové hodnoty;
3. výstupná vrstva – kde vznikajú rôzne závery, v ktorých má sieť rôzne stupne spoľahlivosti.⁴²

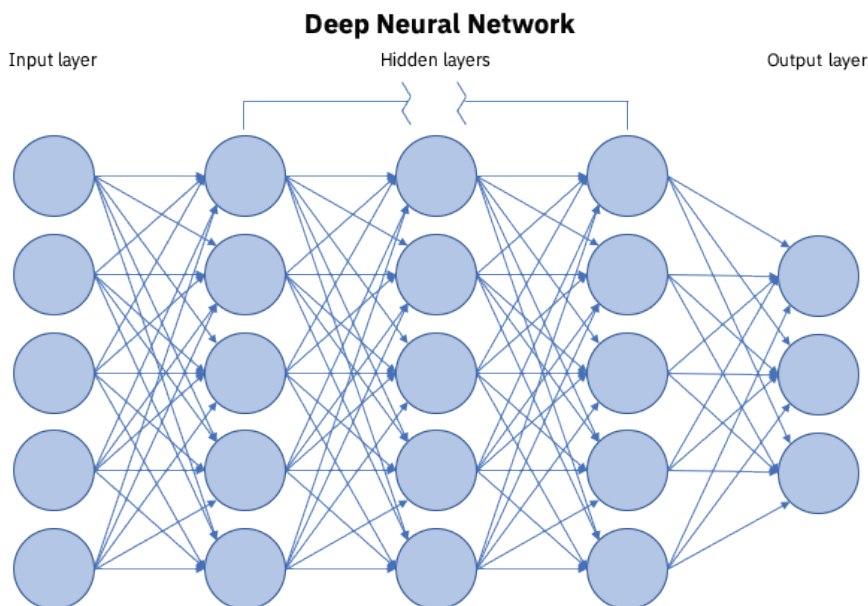


Obr. 1: Základná neurónová sieť. Zdroj: *Neural networks*. Dostupné na: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>

Druhou vrstvou je **hlboké učenie**. Je to podmnožina strojového učenia, ktorá umožňuje počítačom učiť sa zo skúseností a porozumieť svetu v zmysle hierarchie pojmov. Pretože počítač zhromažďuje vedomosti zo skúseností, nie je potrebné, aby operátor ľudského počítača formálne špecifikoval všetky znalosti potrebné pre program. Hierarchia pojmov umožňuje počítaču pomocou vrstiev jednoduchších pojmov naučiť sa pojmy zložité.⁴³

Modely hlbokého učenia sú založené na hlbokých neurónových sieťach. Ide o neurónové siete s viacerými skrytými vrstvami, z ktorých každá ďalej rozširuje predchádzajúce vrstvy. Tento pohyb výpočtov cez skryté vrstvy do výstupnej vrstvy sa nazýva *šírenie vpred*. Opačný proces sa nazýva *spätné šírenie*, ktoré identifikuje chyby vo výpočtoch, priraduje im váhu a posúva ich späť do vrstiev, aby sa model sám vylepšil.⁴⁴

Modely strojového učenia, ktoré nie sú modelmi hlbokého učenia, sú založené na umelých neurónových sieťach s jednou skrytou vrstvou (Obr. 2). Tieto modely sú napájané označenými údajmi – údajmi obohatenými o značku, ktorá identifikuje ich vlastnosti spôsobom, ktorý pomáha modelu identifikovať a porozumieť údajom. Sú zahrnuté do tzv. *učenia pod dohľadom* (angl. *supervised learning*). Je to fáza učenia, ktorá zahŕňa ľudský dohľad, napríklad úpravy algoritmov v modeloch.⁴⁵ Na obrázku je možné vidieť schematický model vrstvenia a rozdiel medzi základnou a hlbokou neurónovou sieťou.



Obr. 2: Hlboká neurónová sieť. Zdroj: *Neural networks*. Dostupné na: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>

b) Logické usudzovanie

Logické usudzovanie v UI má za úlohu tzv. *znalostný agent* alebo *rozumný agent*. *Znalostný agent* disponuje poznatkami o svete, v ktorom koná a robí úsudky o možných smeroch svojho konania. *Znalostný agent* pozná a usudzuje, čo mu pomáha svoje schopnosti rozmnožovať. *Znalostný agent* získa schopnosť riešiť nový druh problémov naučením sa alebo získaním nových znalostí o prostredí.⁴⁶ Poznatky, o ktorých je známe, že platia, môžu slúžiť na odvodenie nových poznatkov. Nuž a niektoré z novozískaných poznatkov môžu prispieť k vyriešeniu daného problému omnoho priamočiarejšie.⁴⁷

c) Problém a riešenie problémov

Ak máme sformulovaný cieľ, nemusíme mať ešte nevyhnutne problém. Problém máme až vtedy, ak sa stav nášho sveta líši od cieľa. Problémom je rozpor medzi tým, čo je, a tým, čo chceme. Problém neexistuje v prípade, ak vieme presne určiť akciu alebo postupnosť akcií k dosiahnutiu cieľa. Problém nastáva vtedy, ak nie je známe,

ktorá akcia alebo postupnosť akcií povedie k dosiahnutiu cieľa.⁴⁸ Vtedy sa začína proces riešenia problému, výsledkom ktorého je riešenie problému, čo nie je práve šťastná terminológia. Slovenčina má totiž to isté slovo „riešenie“ pre proces (*solving*) aj pre jeho výsledok (*solution*). Ak sa inteligentný agent prostredníctvom vnemu dozvie cieľ, môže riešiť problém tak, že hľadá postupnosť akcií vedúcich k cieľu. Proces riešenia problému je teda opísaný algoritmom **hľadania riešenia**. Jeho vstupom je problém a výstupom jeho riešenie (ak sa nájde) v tvare postupnosti akcií. Potom môže inteligentný agent akcie vykonať. Program inteligentného agenta opisuje tri základné činnosti – vyjadri (cieľ a problém), hľadaj a vykonaj.⁴⁹

Tu sa veda o UI zaujíma o modely uvažovania spojené s východiskovými hodnotami (približné pravidlá) a kontrafaktuálnymi situáciami⁵⁰ („ak... by to tak bolo, potom... by to tak bolo“). Štúdium týchto mechanizmov uvažovania je omnoho náročnejšie, než sa pôvodne predpokladalo. Zahŕňa takzvané *nemonotónne uvažovanie* (zaoberá sa tým, ako sa presvedčenie uvažujúceho zmení, keď sa sprístupnia a začlenia nové informácie), ktoré sa od začiatku 80. rokov 20. storočia stalo hlavným predmetom štúdia v rámci UI.⁵¹

Robotika

Schopnosti inteligentných robotov každým rokom vzrastajú. Priemerný ľudský mozog však vie stále spracovať viac informácií, než ten najvýkonnejší počítač sveta *BLUE GENIE* od firmy IBM, a to približne sto miliónov inštrukcií za sekundu. Úroveň výkonu počítačového spracovania by podľa *Mooreových zákonov*⁵² mohla rásť až do bodu, keď stroje budú môcť pracovať takmer tak dobre ako ľudský mozog. Tým sa dostávame k tzv. **antropomorfizmu**.⁵³ Do definície antropomorfu spadá niekoľko pojmov. Prvým je **android** – toto stvorenie je podobné človeku najmä na biochemickej báze; jeho cieľom je uvažovať a správať sa ako človek. Ďalším je **humanoid** – ktorý je taktiež podobný človeku, ale predovšetkým stavbou svojho tela a spôsobom pohybu. **Gynoid** – je humanoidný typ robota, ktorý vzhľadom a správaním pripomína ženské pohlavie. **Kyborg** (odvodené od spojenia: *kybernetický organizmus*) predstavuje živú bytosť, obohatenú o mechanické alebo elektronické súčiastky; kyborgovia sa zatiaľ vyskytujú iba v sci-fi filmoch, avšak technicky je kyborgom aj človek s endoprotézou, naslúchadlom alebo srdečným simulátorom. Zostrojenie kybernetických protéz s kvalitou porovnateľnou alebo presahujúcou kvalitu nahradených orgánov je otázkou blízkej budúcnosti.⁵⁴

Znalostné systémy a expertné systémy

Prvou prakticky dôležitou oblasťou zameranou na napodobňovanie ľudskej inteligencie je tzv. *znalostný systém*. Znalostné systémy sú počítačové programy, ktoré zhromažďujú a manipulujú so znalosťami a, rovnako ako ľudia, vytvárajú poznatky.⁵⁵

V tomto prípade je dôležité vysvetliť pojem *poznatok* a ďalšie pojmy. Prvým je informácia, ktorá sa môže chápať ako *údaj* (dáta) alebo *fakt* (ktorý je obsahom správy

získanej od iného subjektu komunikáciou alebo aj vlastným pozorovaním). *Fakt* je taký obsah informácie, ktorý je konzistentný s objektívnou realitou a jeho platnosť môže byť overená. Poznatky získavame z informácií.⁵⁶

Poznatok je teda už spracovaná informácia alebo viac informácií. Poznatok je čiastočným výsledkom kognitívneho procesu a možno ho ďalej využívať. *Vedomosti* vychádzajú z poznatkov, a preto sú premenlivé a majú tiež určitú praktickú aplikačnú hodnotu. Nositelmi vedomostí sú bežní užívatelia, aj tí, ktorí ich využívajú špeciálne. Dobře vyškolení a zvyčajne vysoko kvalifikovaní odborníci v úzkej oblasti života vedia viac než väčšina bežnej populácie. V zriedkavých prípadoch vedia veci, o ktorých iní nevedia, a preto týchto ľudí nazývame *expertmi*.⁵⁷

Experti vedia riešiť zložité problémy, pre ktoré sa nedajú vytvoriť ľahko formulovateľné postupy. Je veľmi zložitá vytvoriť počítačové programy, ktoré dokážu takéto problémy riešiť. Človek takéto problémy dokáže riešiť rôznymi nedeterministickými a nepriamočiarými spôsobmi. Znalosti odborníkov sú zamerané na jednu veľmi úzku aplikačnú doménu, a preto sú vhodné len pri určitých druhoch aplikácií.

Expertný systém má význam použiť vtedy, keď sú splnené nasledovné podmienky:

- ak problém nie je dostatočne vyjadriteľný a štruktúrovateľný a je netriviálny;
- ak riešenie nie je deterministické, nie je bežne známe, ale vyžaduje si vyhľadávanie vhodnej postupnosti riešiacich krokov;
- ak problém nemá dostatočne opísané a dostupné teoretické podklady (údaje sú vágne, nespoľahlivé, neurčité).

Umelá inteligencia a umenie

Kreativita a jej význam prinútili množstvo umelcov, filozofov aj vedcov pokúsiť sa formulovať, čo kreativita je, ako kreativitu stimulovať a prečo je dôležitá. Kreativita môže mať podobu rozhodnutia, riešenia problémov alebo konštrukcie novosti (invenčný nápad, obrazotvornosť atď.). *Tvorba* je nový pohyb ľudského myslenia alebo aplikácia už osvedčeného pohybu na novú situáciu ľudského myslenia. Margaret Bodenová (1936)⁵⁸ na tento účel identifikovala tri rôzne typy ľudskej tvorivosti. Prvým typom je **prieskumná kreativita**, ktorá zahŕňa prevzatie toho, čo už existuje. Skúma jeho vonkajšie okraje a rozširuje hranice možného, pričom zostáva viazaná určitými pravidlami. V tomto type kreativity je významne zahrnutá matematika. Zahŕňa posúvanie hraníc a zároveň dodržiavanie pravidiel. Margaret Bodenová verí, že prieskum predstavuje 97 % ľudskej tvorivosti a je to taktiež druh kreativity, v ktorej počítače vynikajú. Posúvanie vzoru alebo súboru pravidiel do extrémov je ideálne pre výpočtový mechanizmus, ktorý dokáže vykonať oveľa viac výpočtov než ľudský mozog.⁵⁹ Druhý typ kreativity zahŕňa **kombináciu**, čo využíva aj umenie. Americký skladateľ Philip Glass (*1937) prevzal modely, ktoré sa naučil pri práci s indickým skladateľom a sitáristom Ravim Shankarom (1920 – 2012) a použil ich v rámci kompozičnej techniky, ktorá je jadrom jeho minimalistickej hudby. Pre tvorbu novosti sú dôležité najmä vzájomné súvislosti informácií, pretože tvoria základ ďalších možných obsahových kombinácií a novostí. Ak má myslenie ľudí dosť zámerných obsahov, široké spektrum vedomostí a ak sú tieto obsahy usporiadané v stabilnej štruktúre vzájomných vzťahov, potom je možné tvorivý pohyb aplikovať na mnohé situácie.

Takéto osvojovanie znalostí vedie paradoxne k situáciám vyžadujúcim si malú mieru tvorivosti, k situáciám, keď sa ľudské myslenie uchyluje k algoritmickým, naučeným pohybom. Preto existuje predpoklad, že tento druh kreativity môže byť ideálny aj pre svet UI. Algoritmus si zvolí dva žánre, ktoré spojí, a skončí s hybridnou kompozíciou, ktorá môže vytvoriť nový zvukový svet. Samozrejme, môže to byť aj pochmúrna kakofónia. Algoritmus musí využiť dva žánre, ktoré sa dajú zaujímavým spôsobom algoritmicky spojiť.⁶⁰

Tretia forma kreativity je tá tajomnejšia a nepolapiteľnejšia, je to **transformačná kreativita**. Umenie je tvorivý akt, je to proces vyberania si, čo vynechať alebo aké nové obmedzenie zaviesť tak, aby bol vytvorený nový umelecký tvar. Skutočne kreatívny čin si niekedy vyžaduje, aby sme vystúpili zo systému a vytvorili novú realitu, ako to bolo v prípade P. Picassa a kubizmu, A. Schönberga a dodekafónie, J. Joycea a modernizmu. Vznik romantického hnutia v hudbe je v mnohých ohľadoch súborom porušovania pravidiel. Franz Schubert sa namiesto modulácií do príbuzných tónin rozhodol zámerne narušiť očakávania. Robert Schumann akordy, pri ktorých by J. Haydn alebo W. A. Mozart pociťovali potrebu rozvedenia a uzavretia, zámerne ponechával nerozvedené. Fryderik Chopin zase komponoval hutné chromatické behy a nezvyčajne akcentovanými pasážami a zmenami tempa narúšal rytmické očakávania. Prechod od stredoveku cez barok ku klasickému, romantickému, impresionistickému a expresionistickému štýlu je príbehom neustáleho porušovania konvencionalizovaných pravidiel. Je takmer samozrejmé, že historický kontext hrá dôležitú úlohu v tom, že nám umožňuje definovať niečo ako nové. Kreativita nie je absolútna, ale relatívna aktivita. Sme kreatívni v rámci danej kultúry a referenčného rámca. Ľudské myslenie vždy disponuje intencionálnym⁶¹ obsahom mysle, ale algoritmy sa učia, ako konať na základe údajov, s ktorými interagujú. Neznamená to však, že by sa v budúcnosti nedal naprogramovať iracionálny program.⁶²

Ak by teda UI mala celkom nahradiť prácu zvukového majstra či zvukového technika, musela by dokázať vnímať zvuk nielen z technického hľadiska, ale aj z umeleckého hľadiska, a teda výsledky by počas procesu úpravy zvuku mali byť nepredvídateľné a relatívne vzhľadom na zvukový materiál, ktorý upravuje.

Umelá inteligencia a tvorba umeleckého diela

Dôležitou súčasťou výchovy hudobníkov k nadobúdaniu umeleckých zručností je učenie postupnosti krokov, ktoré sú potrebné pri tvorbe konkrétnych umeleckých diel. Nádejní a talentovaní hudobníci poznajú relevantné diela z dejín umenia, snažia sa ich napodobňovať, analyzujú konkrétne diela a nachádzajú a osvojujú si vlastné postupy a techniky, teda objavujú a učia sa vlastné umelecké „algoritmy“. Algoritmus predstavuje súbor metodických krokov, ktoré je potrebné vykonať na dosiahnutie požadovaného cieľa. Nie je to práca samotná, ale séria presne definovaných pokynov potrebných na dokončenie konkrétnej úlohy. Ak teda algoritmus ovládame, môžeme ho opakovane použiť na vytváranie diel s rovnakou alebo podobnou technikou či štýlom. Študenti sa učia túto sériu krokov od učiteľa. Prostredníctvom osobitých štýlov a techník je možné umelca identifikovať. Metódy na výchovu mladých hudobníkov sa dajú aplikovať aj na tvorbu algoritmu UI.⁶³

Algoritmy strojového učenia sa využívajú aj v oblasti hudobného umenia. David Cope (*1941)⁶⁴ vytvoril počítačový program na vytváranie hudobných diel. Koncerty, symfónie, spevy a opery skomponované touto UI sú nerozoznatelné od produktov človeka. Jeho program *EMI (Experiments in Musical Intelligence)* napodobňoval hudobný štýl najznámejších Bachových diel. Kritici zvyčajne počítačovým programom vyčítajú, že im chýba hĺbka a flexibilita ľudského prežívania, ale poslucháči v experimente⁶⁵ hlasovali za skladbu *EMI* práve pre jej hĺbku a emocionálne vyžarovanie. Program *EMI* sa stále zdokonaľuje a dnes je tento program schopný napodobniť skladateľský štýl L. van Beethovena, F. Chopina, A. Vivaldiho, S. Rachmaninova či I. Stravinského. Po úspechoch s *EMI* vytvoril David Cope nové programy. Doposiaľ najdokonalejším Copeho programom je pravdepodobne program *Annie*, ktorý pracuje na princípe strojového učenia. Tento program je schopný nielen vytvoriť rôzne diela v štýle určitého autora, ale na základe analýzy zohľadňuje aj algoritmy ďalších autorov a hudobných žánrov. To z neho robí mimoriadne flexibilný, neustále sa vzdelávajúci a zlepšujúci sa program.⁶⁶

Mnohé počítačové systémy dnes veľmi dobre napodobňujú a simulujú rôzne emocionálne problémy a stavy vedomia. Tieto ich schopnosti využívajú napríklad školskí psychológovia a psychiatri.⁶⁷

Výhoda „umeleckej“ produkcie prostredníctvom UI spočíva v rýchlosti generovania všetkých možností, ktoré daný štýl ponúka. Výpočtová a produkčná kapacita daného systému je zvyčajne niekoľkonásobne vyššia, než kapacita ľudského tvorca, a preto umelý systém dokáže rýchlo obsiahnuť všetky možnosti, ktoré daný spôsob poskytuje. Umelá inteligencia je často kritizovaná, že nie je dostatočne inovatívna (z kompozičného hľadiska) a využíva iba funkcie, ktoré poskytujú jej predprogramované algoritmy. Strojové učenie však počítačom umožňuje naučiť sa úplne nové princípy z nových, vopred nenaprogramovaných algoritmov. Okrem toho, ak majú dostatočne širokú škálu vstupov, naučia sa tieto algoritmy rýchlejšie a presnejšie než človek.

Zdá sa, že je len otázkou času, keď sa skrytý potenciál UI a strojového učenia (variabilita, presnosť, precíznosť i stále sa zvyšujúca kapacita) v oblasti umenia naplno rozvinie a prekoná to, čo nám dnes umožňuje naša myseľ, ako tomu je napríklad dnes v iných oblastiach myslenia (výpočtové procesy, pamäť a pod.).⁶⁸

Vnímanie a hodnotenie umeleckého diela prostredníctvom umelej inteligencie

Proces sluchového vnímania možno sledovať od úrovne zvukového podnetu cez jeho fyziologické a neurónové spracovanie až po psychickú reakciu poslucháča.⁶⁹ Proces hodnotenia hudobného diela nie je taký jednoduchý ako samotný proces hodnotenia zvuku. Pre laický proces hodnotenia zvuku nie je potrebné osvojovať si žiadne špeciálne vedomosti či zručnosti.

Všetky k tomu potrebné vlastnosti sú mu totiž už geneticky dané. Avšak pre proces hodnotenia hudobného diela je potrebné osvojiť si určité analytické postupy a princípy.⁷⁰

Postup hodnotenia zvuku spočíva v jeho prvotnom zachytení. To znamená, že zvuk musí presahovať určitú hlasitosť nad zvukom okolitého šumu, aby bolo možné zaregistrovať jeho intenzitu. Prekročenie amplitúdového prahu síce neznamená konečnú stálosť

jeho hlasitosti (musí totiž trvať aspoň 100 milisekúnd), umožní nám však binaurálnym⁷¹ vnímaním (t. j. vnímanie „priestorovosti“ zvuku) zaznamenať zdroj zvuku. Ďalej nasleduje vymedzenie periodicity alebo neperiodicity vnímaného zvuku a zároveň predbežné určenie frekvenčnej polohy zvuku bez ohľadu na jeho charakter. Preto sa charakteristiky vnímaného zvuku delia na tón alebo hlučnosť. Vnímanie výšky tónu alebo farby zvuku nie je len zložitým procesom analýzy, ale súvisí najmä so systematickým využívaním našich *interných modelov*.⁷² Ďalšie spracovanie zvuku na úrovni fyziologických neurónov je veľmi zložitá a nie je úplne vo všetkých aspektoch preskúmané. Na vstupe do sluchového orgánu vykazuje vnímaný zvuk konkrétne fyzikálne vlastnosti, ktoré sa dajú zachytiť aj spektrogramom.⁷³ Túto metódu zvukovej analýzy tiež využíva značná časť programov UI.⁷⁴

Vyhodnotenie zvuku z hľadiska informačného obsahu, teda ako subjekt zareaguje na zvuk, závisí od fyziologického stavu sluchového orgánu, psychologického stavu poslucháča, zvukových skúseností poslucháča, asociačných schopností poslucháča, imaginačných schopností poslucháča a posluchového podmienok.⁷⁵

Zložitejšou otázkou vzťahu UI a umenia je jeho hodnotenie. Pri tvorbe umeleckých diel si síce vieme predstaviť bezduchý stroj, ktorý dokáže generovať umelecké diela bez potreby subjektívneho cítenia, uvedomovania si či myslenia, ale v otázke hodnotenia umeleckých diel inštinktívne predpokladáme potrebu zamyslenia sa nad hodnotou umeleckých diel aj na základe subjektívnych pocitov a kritérií. Zdá sa, že tento intuitívny pohľad nie je neprekonateľný. Programátori a zástancovia UI hľadajú čiastkové riešenia pri tvorbe programov, ktoré dokážu hodnotiť umelecké diela z hľadiska ich originality, použitej techniky a hodnotiť ich tvorcov či hodnotiteľov na základe rôzne špecifikovaných kritérií.⁷⁶

Profesor Ahmed Elgammal⁷⁷ sa so svojimi kolegami pokúsil vytvoriť počítačový program, ktorý by dokázal hodnotiť mieru originality umeleckého diela. Program sa zameriava na kontrolu farby, hustoty či techniky tvorby. Program porovnáva aj žánrové a iné umelecké princípy, vrátane autorovho umeleckého štýlu – jeho vzťahu k iným dielam a autorom. Podstatou programu *ArtPi* je porovnávanie rôznych foriem a obsahových prvkov rôznych umeleckých diel, ktorých podobu možno nájsť v dostupnej digitálnej databáze programu.⁷⁸ Klasická námietka voči programu *ArtPi* je, že ignoruje skutočný umelecký a historický vplyv a iba pozoruje výskyt a koreláciu pozorovaných prvkov a foriem. Zároveň pracuje len s obmedzeným rozsahom dostupných predlôh, a tie závisia aj od kvality svojho spracovania. Napokon, výsledky poskytované programom závisia najmä od obmedzenej šírky parametrov monitorovania.⁷⁹

ArtPi poskytuje riešenia pre múzeá a galérie. Poskytuje prehľad o tom, ktoré diela návštevníci vyhľadávajú alebo zdieľajú na internete a sociálnych sieťach, teda o aké diela majú návštevníci záujem. Analýzou veľkých dát⁸⁰ je možné dokonca produkty „ušiť na mieru“ každému používateľovi na základe jeho preferencií (podobne ako dnes fungujú napr. online reklamy).⁸¹

Dôležité historické míľniky využitia umelej inteligencie v hudbe

Roku 1951 britský matematik Alan Turing po prvý raz v histórii hudby vygeneroval počítačom hudobné tóny, nemal však veľký záujem o ich programovanie do melódií. Tie následne manuálne zostavil Christopher Strachey (1916 – 1975). Vytvorených bolo

niekoľko melódií, vrátane melódie *God Save the King a Baa, Baa Black Sheep*. Roku 1957 hudobný skladateľ Lejaren Hiller (1924 – 1994) a matematik Leonard Isaacson (*1925) z Illinoiskej univerzity v Urbane – Champaign skonštruovali počítač ILLIAC I (*Illinois Automatic Computer*). Bol to prvý počítač vyrobený a vlastnený výhradne vzdelávacou inštitúciou v USA, ktorý slúžil na generovanie hudobného materiálu a kompletne zostavenie hudobného diela umelou inteligenciou s názvom *Illiatic Suite for String Quartet* (Suita Illiac pre sláčikové kvarteto).⁸²

Roku 1960 ruský výskumník Rudolf Khafizovich Zaripov (1929 – 1991) zverejnil prvú publikáciu o algoritmickom komponovaní hudby pomocou počítača URAL-1 – *Algoritmický popis procesu hudobnej kompozície*.⁸³

Roku 1965 americký vynálezca Ray Kurzweil (*1948) uviedol klavírnu skladbu „skomponovanú“ počítačom, ktorý dokázal rozpoznávať kompozičné modely v rôznych hudobných skladbách. Tento počítač bol schopný analyzovať množstvo skladieb, rozpoznať vzorové modely a použiť tieto modely na vytvorenie rôznych nových melódií.⁸⁴

Roku 1973 profesor Barry Vercoe (*1937) založil v MIT (Massachusettský technologický inštitút) Experimental Music Studio (EMS, Experimentálne hudobné štúdio), ktoré sa stalo prvým strediskom na svete s digitálnymi počítačmi určenými na výskum a tvorbu počítačovej hudby.^{85, 86}

O rok neskôr sa na Michiganskej štátnej univerzite v East Lansing v USA (roku 1974) konala prvá Medzinárodná konferencia o počítačovej hudbe (ICMC), ktorá sa neskôr stala popredným každoročným stretnutím odborníkov na počítačovú hudbu z celého sveta.⁸⁷

Roku 1975 N. Rowe z experimentálneho hudobného štúdia EMS v MIT vydal publikáciu *Machine Perception of Musical Rhythm*. Rowe vyvinul systém pre inteligentné vnímanie hudby – hudobník plynulo hrá na akustickej klávesnici, zatiaľ čo stroj vyvodzuje a registruje rytmus a tempo skladby.

Roku 1980 americký skladateľ a vedec David Cope (*1941) z Kalifornskej univerzity v Santa Cruz vyvinul softvér *Experiments in Musical Intelligence* (EMI).^{88, 89}

V roku 1995 David Bowie (*1947) pomohol programátorovi Ty Robertsovi vyvinúť aplikáciu s názvom *Verbasizer*, ktorá na základe prevzatého literárneho zdrojového materiálu náhodne usporiadala slová tak, aby vznikli nové kombinácie, ktoré by sa dali použiť ako texty piesní. Takto vytvorené texty sa neskôr objavili na niekoľkých piesňových albumoch Davida Bowieho.⁹⁰

Roku 1996 vznikla z iniciatívy firmy Sony spoločnosť Sony Computer Science Laboratories (Sony CSL) ako malá, no rýchlo sa rozvíjajúca výskumná bunka, ktorá využíva nástroje vedy a umelej inteligencie na skúmanie základných otázok v rozmanitých oblastiach, ako napríklad jazyk a komunikačné systémy, udržateľnosť, dynamika inovácií a kreativita, tvorba hudby. V oblasti hudby ich záber siaha od renesančnej polyfónie až po súčasnú populárnu hudbu z pohľadu štúdiového hudobníka. Sony CSL vytvorila vyše 30 patentov v oblasti distribúcie hudby alebo tvorby interaktívnej hudby.⁹¹

Roku 2002 François Pachet (*1964) z tímu Sony CSL navrhol algoritmus s názvom *Continuator*, ktorý sa učil hudobné dielo v reálnom čase počas reprodukcie hudobníkom. Následne z miesta, kde sa hudobník zastavil, vedel v danom štýle hudbu dokončiť.⁹²

V roku 2010 vznikla hudobná skladba s názvom *Iamus' Opus One*. Ide o prvý fragment súčasnej klasickej hudby, ktorý počítačová umelá inteligencia zložila v „jej vlastnom jedinečnom štýle“, namiesto toho, aby len napodobňovala štýly iných skladateľov.⁹³ *Iamus* je skupina počítačov na Universidad de Malaga,⁹⁴ ktoré vytvoril Francisco Vico⁹⁵ v spolupráci s klaviristom a skladateľom Gustavom Díaz-Jerezom (*1970).⁹⁶

Roku 2016 vedci zo Sony CSL predstavili prvú skladbu populárneho žánru generovanú softvérom *UI Flow Machines* s názvom *Daddy's Car*. Na vygenerovanie kompozície softvér z rozsiahlej databázy používa kombináciu prvkov mnohých piesní, pričom potrebné je zadať len štýl a interpreta, ktorému softvér pieseň nakomponuje na mieru.⁹⁷

Roku 2019 islandská speváčka a skladateľka Björk Guðmundsdóttir (*1965) vytvorila v spolupráci so spoločnosťou Microsoft skladbu názvom *Kórsafn*, ktorá je založená na meniacom sa počasí a polohe slnka. Skladba sa nepretržite generuje a reprodukuje vo vstupnej hale Sister City Hotel v New Yorku. Skladba využíva zvuky z hudobných nahrávok Björk, ktoré vytvorila za posledných 17 rokov. Informácie o počasí čerpá pomocou priameho prenosu kamery zo strechy budovy hotela. Výsledkom je nekonečný rad nových variácií, ktoré pre hotelových hostí vytvárajú náladu spojenú s počasím.⁹⁸

Umelá inteligencia v kontexte zvukovej postprodukcie

Zvuková mixáž

Na pochopenie vplyvu nových softvérov využívajúcich UI v procese práce zvukového majstra je nutné priblížiť tradičný spôsob práce so zvukom. Proces zvukovej úpravy predstavuje kombináciu počúvania a technologických postupov smerujúcich k určitému cieľu – k finálnej mixáži hudobnej skladby.⁹⁹

Manipulácia (alebo modulácia) audio signálu sa nazýva úprava zvukového signálu alebo **zvuková mixáž**. Zvukoví majstri spracujú zvuk predtým, ako sa posunie do poslednej fázy zvukovej úpravy (mastering-u¹⁰⁰) a následne zverejní prostredníctvom formálneho vydania (napr. album, singel, film atď.) alebo webovej stránky či streamovania.¹⁰¹ Samotné mixovanie hudby je zložitá úloha, ktorá zahŕňa rozmiestnenie zvuku do priestoru (stereo, kvadro a i.), úpravu farby (zvukové filtre) a hlasitosti viacerých zvukových vrstiev, prípadne nastavenie rôznych zvukových efektov.

Rôzni zvukoví majstri majú rôzne prístupy k tomu, ako mixáž začať a v akom poradí postupovať. Pri mixáži neexistuje jednotný postup, ani ustálené poradie jednotlivých krokov. Populárne spôsoby zvukovej mixáže odporúčajú začať mixáž so všetkým hladinami vrstiev dole alebo hore a začať spracovaním buď bicích nástrojov, alebo hlavného vokálu. Podobne existujú dva hlavné prístupy pre mixáž bicích nástrojov: a) použitie hlavnej dvojice mikrofónov ako hlavného signálu a podľa potreby pridanie dôrazu pomocou kontaktných mikrofónov, alebo b) použitie kontaktných mikrofónov ako primárneho signálu a zosilnenie hlavnej dvojice mikrofónov podľa vkusu.¹⁰²

Oblíbeným východiskom pri vytváraní zvuku skladby je simulácia živého priestoru, prostredníctvom ktorej zvukoví majstri vytvárajú ilúziu, že sa poslucháč zúčastňuje imaginárneho koncertu s vhodne umiestnenými nástrojmi v priestore. V tomto kontexte je taktiež dôležité spomenúť techniku panoramovania hudobného nástroja zo zvukovej perspektívy hudobníka. Poslucháč je na koncerte umiestnený oproti hudob-

níkom a tým vníma všetky nástroje v prevrátenej polohe. Nízke tóny klavíra počuje na pravej strane a vysoké na strane ľavej. Hudobník to počuje naopak. Pri vytváraní simulácie živého priestoru je teda logické umiestniť hudobné nástroje po stereo báze z perspektívy poslucháča, avšak mnohí zvukoví majstri majú rozdielne názory na to, či by mali prijať perspektívu hudobníka alebo publika.¹⁰³

Dozvuk sa často uvádza ako primárne zariadenie na pridanie hĺbky zvuku. Šírka sa dosahuje zväčša panorámou, teda použitím stereo zdrojov. Vnímanú vzdialenosť možno ďalej ovplyvniť úpravou úrovne (bližšie zdroje sú hlasnejšie), ekvalizáciou (vzdialený zdroj zoslabí vysoké frekvencie v dôsledku absorpcie) a dozvukom (vyššia úroveň posunie zdroj ďalej). Typ záznamového média mohol v minulosti predstavovať určité obmedzenia, čo sa týka umiestnenia nástrojov. V súčasnosti sú však niektoré pódiové polohy nástrojov dokonca inšpirované práve polohami z hudobných záznamov. V rockovej a popovej hudbe je zvykom vidieť bicie nástroje a hlavného speváka v strede a gitary, klávesy a dychové sekcie na stranách pódia, pričom vo veľkých priestoroch je efekt iba vizuálny, ale môže byť inšpirovaný typickými polohami v mixe. V menších prostrediach, kde veľká časť zvuku pochádza z javiska, má fyzická poloha bicích a gitarových zosilňovačov skutočný vplyv na zvuk a schopnosť publika priestorovo identifikovať rôzne nástroje.¹⁰⁴

Samotné nastavenia zvukových procesorov sú značne modulárne. Procesory môžu byť vložené v takmer neobmedzenom počte konfigurácií, a to najmä v digitálnom prostredí. Zvuk sa taktiež líši v závislosti od zvoleného poradia zvukových procesorov. Napríklad kompresor ovplyvní signál inak podľa toho, či je ekvalizér umiestnený pred ním alebo za ním. Ekvalizácia zvuku sa často požaduje už pred kompresiou, pretože silná nízka frekvencia alebo výrazná frekvencia môže kompresor spustiť aj vtedy, keď to nie je žiaduce. Potenciometer hladiny signálu a panoráma vo všeobecnosti pracujú so signálom po efektových procesoroch, ako je kompresor a ekvalizér. Všeobecne platí, že tzv. statická mixáž (bez automatizovaných parametrov) je vytvorená skôr než automatizácie jej parametrov.¹⁰⁵

Mnohé príručky audiotechniky uvádzajú štandardné nastavenia pre mixovanie rôznych nástrojov a žánrov. Tie isté zdroje tiež uvádzajú, že zvuková mixáž je vysoko nelineárna a nepredvídateľná a že neexistujú žiadne prísne pravidlá, ktoré by sa mali dodržiavať. Typické spektrálne a dynamické spracovanie stôp značne závisí od charakteristík vstupného signálu. Predvoľby nastavení zvukových procesorov poskytujú východiskový bod pre mnohých začínajúcich aj profesionálnych zvukových majstrov. Tieto predvoľby sú v podstate „hluché“ pre prichádzajúci signál. Založené sú na predpokladoch o vlastnostiach signálu a niekedy sú určené pre konkrétny nástroj.¹⁰⁶ Zvukoví majstri sú špecialisti, ktorí používajú dostupný komerčný softvér, často však majú vo svojich štúdiách aj špeciálne zvukové procesory. UI a strojové učenie je aj v profesionálnych štúdiách neoddeliteľnou súčasťou spracovania zvuku a často určuje spôsob, ako bude zvuková podoba populárnej nahrávky znieť.¹⁰⁷

Zvuková úprava skladby (alebo mixovanie hudobného materiálu) je neustále meniaci sa súbor techník, praktík a technológií vykonávaných v určitom poradí a v určitom prostredí. Tieto techniky zahŕňajú pochopenie príčin a účinkov v závislosti od daného cieľa.¹⁰⁸ Odvetvie audio postprodukcie sa však mení aj z dôvodov, ktoré nemajú nič spoločné s automatizovanou úpravou zvuku. Vysokokvalitný softvér a jednoduchší prístup k znalostiam o zvuku a akustike teoreticky znížili prekážky vstupu do podnika-

nia, zatiaľ čo znižujúce sa rozpočty veľkých vydavateľstiev stlačili vrchol podnikania. Audio priemysel však nevykazuje žiadne známky toho, že by zvukové inžinierstvo bolo „zautomatizované“, napriek popularite softvérov s UI.¹⁰⁹

Kultúra remesla zvukového majstra

Od zvukových majstrov sa očakáva, že vyriešia technické problémy a kreatívne implementujú hudobnú víziu umelca alebo producenta do výsledného zvukového tvaru. Mixáž sa začína po fáze nahrávania na základe zvukových stôp, ktoré má zvukový majster za úlohu spracovať a zmixovať do takmer finálnej verzie skladby. Tento proces zahŕňa zvukový strih a zvukové spracovanie stôp s dôrazom na umelecké vyznenie smerujúce k finálnej mixáži.¹¹⁰

V preddigitálnej ére (v 50. až 80. rokoch 20. storočia) existoval lineárny, mechanický a analógový pracovný postup od strihu magnetickej pásky, miešania audio vrstiev zvukovým majstrom cez analógový mixpult až po proces konečnej verzie. V tomto období, aby sa predišlo poškodeniu zvukového záznamu, si proces výroby zvukového záznamu vyžadoval viac fyzickej zručnosti. Keď sa strih magnetických pásek či rezanie master platní vykonávali ručne, zvukový majster mal oveľa väčšiu zodpovednosť. Zásadným faktorom tohto postprodukčného procesu bolo aj to, že jednotlivé zvukové úpravy boli nenávratné, teda zvukový majster sa k nastaveniam už nemohol vrátiť a opraviť ich.¹¹¹

S nástupom digitalizácie v 80. rokoch 20. storočia sa spoločnosti zaoberajúce sa mixážou a masteringom zvuku zmenili. Začali sa využívať internetové stránky na marketing, internetové servery na prenos súborov (ftp) a online (cloudové) úložiská na komunikáciu s klientmi.¹¹²

Zvukoví majstri majú tendenciu pracovať skôr izolovane než v kolektívoch. Napriek tomu autorom aj vydavateľstvám ponúkajú odborné konzultácie.¹¹³ Aj toto patrí medzi kľúčové zručnosti, ktoré sú naďalej hlavolamom pre simulačné systémy, ako je *iZotope* alebo *Lander*. V tejto kreatívnej kultúre stále existuje dopyt po exkluzívnych, externých zvukových procesoroch s analógovými obvodmi a žiadnymi (alebo obmedzenými) digitálnymi komponentmi, ktoré sú zvukovými majstrami aj spotrebiteľmi stále považované za garanciu kvality zvuku. Napriek kvalitnému zvuku sa však hudobný materiál na konci procesu musí digitalizovať, aby sa vytvoril digitálny súbor pripravený na distribúciu.¹¹⁴

V dnešnej praxi zvukoví majstri pri realizácii zvukovej nahrávky často používajú tzv. *hybridnú metódu*. Táto metóda spočíva vo využívaní súčasných technológií, aj zariadení pred digitálnou dobou. Zvukoví majstri tak môžu jednoducho uložiť, vyvolať, meniť alebo vrátiť späť jednotlivé nastavenia digitálnych zvukových modulov, ale aj celý projekt v DAW. Keď zvukový majster dokončí základnú mixáž skladby, môže s klientom zdieľať kópiu nižšej kvality a na základe spätnej väzby zvukový majster môže pred hromadným prenosom na fyzické médiá alebo pred online distribúciou zvukovú nahrávku ešte upraviť.¹¹⁵

Výhodou tejto hybridnej metódy je, že rutinné manuálne úkony sú vďaka automatizácii alebo prenosu do digitálneho prostredia z veľkej časti eliminované. Každý zvukový majster má tiež jedinečnú kombináciu technického vybavenia (softvérového aj hardvérového), s ktorou si časom vypracoval zručnosti prostredníctvom praxe a kreatívneho experimentovania.¹¹⁶

Využitie UI v postprodukčnom procese – inteligentná hudobná produkcia

Hudobná produkcia¹¹⁷ je vo všeobecnosti vysoko komplexný proces, ktorý predstavuje kombinovanie viacerých zvukových stôp v čase, pričom na každú stopu sa aplikuje odlišné spracovanie zvuku. Spôsob, akým sú zvukové stopy kombinované, závisí od ostatných zvukových stôp. Spracovanie každej zvukovej stopy je vysoko subjektívne a vysoko kreatívne. Kvôli zložitosti procesu mixovania, vrátane vzájomných závislostí spracovania zvuku a väzby každého jednotlivého zvukového aspektu vrátane vysokej úrovne subjektivity, je veľmi ťažké výpočtovo objektivizovať proces mixáže. Práve preto predstavuje *inteligentná hudobná produkcia* zaujímavú oblasť výskumu. Existuje mnoho prístupov stanovujúcich určité pravidlá, ale celkový proces zvukovej postprodukcie je v zásade subjektívny.¹¹⁸

Inteligentná hudobná produkcia (angl. *intelligent music production*, ďalej len IMP) je rozvíjajúca sa oblasť konkrétnych typov softvérov zvukovej postprodukcie. Tento typ softvérov využíva UI na zjednodušenie procesov práce so zvukom. IMP má schopnosť spolupracovať so zvukovými majstrami v podpornej a kolaboratívnej sfére, alebo výrazne zmeniť a ovplyvniť ich už existujúci *work flow*. IMP môže zásadne zmeniť spôsob, akým zvukoví majstri a spotrebiteľia interagujú s hudbou. Má schopnosť preskúmať a pochopiť nové dimenzie a prístupy k ovládaniu zvukových priestorov a môže uvoľniť potenciálne nové koncepty a nápady v oblasti hudobnej produkcie.¹¹⁹

Všeobecný pohľad na to, ako IMP funguje, uvádzame na Obr. 3, ktorý znázorňuje všetky kľúčové fázy interakcie softvéru so zvukom. Existuje vstupný a výstupný zvuk, interakcia s ľudským faktorom, proces rozhodovania a schopnosť vykonať akciu. Vyskytuje sa mnoho príkladov, keď jedna (alebo viacero častí) v tomto procese nie je prítomná, alebo kde sú časti zlúčené do jedného komponentu.



Obr. 3: Zovšeobecnený diagram funkcie inteligentného nástroja na postprodukciu hudby¹²⁰

Od UI sa v postprodukčných softvéroch vyžaduje akceptácia troch požiadaviek:

- požiadavka na pozorovanie alebo vnímanie prostredia,
- požiadavka konať podľa prostredia,
- schopnosť urobiť rozhodnutie na dosiahnutie určitých cieľov.

Podľa toho je možné identifikovať tri kľúčové aspekty systému IMP:

- Úroveň kontroly** – rozsah, v akom ľudský faktor umožní systému IMP riadiť spracovanie zvuku. Obmedzenia ukladajú systému IMP vykonávať úlohu na základe vykonaných pozorovaní.

- b) **Reprezentácia znalostí** – prístup použitý na identifikáciu a analýzu definovaných cieľov a prijatie rozhodnutia. V tejto časti systému sú zastúpené určité znalosti alebo údaje, vykonáva sa analýza a prijíma sa určité rozhodovanie.
- c) **Manipulácia so zvukom** – ide o schopnosť pôsobiť na prostredie alebo vykonať akciu. Zmena zvuku sa vykoná buď priamo (prostredníctvom nejakého média strednej úrovne), alebo tam, kde sa predložia návrhy na úpravu.¹²¹

Keďže vnímanie akéhokoľvek zdroja je ovplyvnené zvukovými charakteristikami iných, súčasne prehrávaných zdrojov, je problém mixáže viacerozmerný. Existuje niekoľko dôležitých otázok, ktoré ovplyvňujú smerovanie výskumu v tejto oblasti a pomáhajú stanoviť funkčnosť nástrojov IMP:

- Ktoré aspekty zvukovej mixáže môže vykonávať inteligentný systém?
- Je alebo nie je cieľom napodobňovať ľudské rozhodnutia?
- Mal by systém fungovať v reálnom čase alebo vytvoriť mix offline?
- Je mix statický alebo premenlivý v čase?
- Bude sa mix prehrávať v konkrétnom akustickom priestore?¹²²

Zvuková analýza a umelá inteligencia

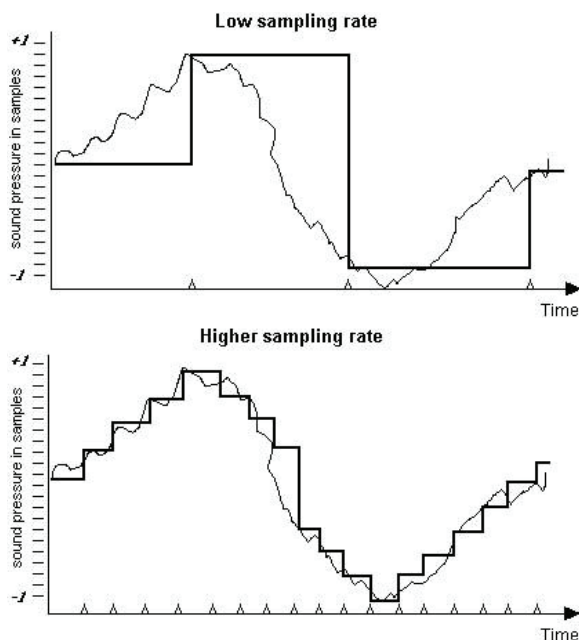
Pred tým, než si algoritmus UI definuje ciele a prijme rozhodnutia, musí samotný zvuk vnímať a pochopiť. Programy UI nemajú sluchové orgány ako ľudia, aj keď sa v robotike objavujú snahy o simuláciu ucha pomocou senzorov. Na to, aby program vedel „vnímať“ alebo prijímať zvuk, a následne na zvuk reagovať, musí signál najskôr previesť do podoby, ktorej bude rozumieť – a tým je digitálny audio súbor.¹²³

Niektoré programy UI využívajú na detekciu audio signálu tzv. *referenčné vzorky*. Program disponuje niekoľkými vzorkami príslušného hudobného nástroja, zvuku, reči atď. Tieto vzorky následne porovnáva so vstupným audio signálom. Pomocou svojich nástrojov upravuje signál tak, aby spĺňal zvukovú charakteristiku referenčnej vzorky.¹²⁴

Techniku detekcie vzorky efektívne využíva napríklad softvérový procesor **Master Match** od firmy ikMultimedia. Softvér vypočítava spektrálne vyváženie a vnímanú hlasitosť referenčných stôp (vzoriek), analyzuje ich pomocou vysoko sofistikovaných algoritmov a potom vytvorí presnú zhodu pre vstupnú audio stopu, pričom ešte poskytuje krivku úpravy frekvenčného spektra. Naučí sa ich obsah a dokáže okamžite poskytnúť najlepšie znejúcu kombináciu nastavenia zvukovej hladiny a ekvalizéra.¹²⁵ Tento softvér je využiteľný najmä na hlavnej (master) stope mixu a nie je vhodné ho uložiť na viac individuálnych stôp, keďže jeho spotreba výkonnosti počítačového procesora je príliš veľká. Master Match nie je dostatočne komplexný z hľadiska počtu funkcií na to, aby sa dokázal porovnávať s modernejšími softvérmí UI na úpravu viacerých stôp.¹²⁶

Jedna z najlepších funkcií na extrakciu informácií zo zvukových priebehov (a digitálnych signálov vo všeobecnosti) existuje už od 80. rokov minulého storočia. Steven Bo Davis a Paul Mermelstein už v roku 1980 predstavili **mel-frekvenčné keprstrálne koeficienty** (MFCC).¹²⁷ Hlavnou črtou MFCC je snaha upraviť signál tak, ako ho asi vníma ľudské ucho, teda zvýraznením nižších frekvencií. Táto úloha sa v praxi realizuje zavedením melovej škály, ktorá odlinearizuje pôvodné frekvencie a zvýrazní frekvencie charakteristické pre ľudské ucho.

Vytváranie modelov strojového učenia na klasifikáciu, opis alebo generovanie zvuku sa zvyčajne týka modelovacích úloh, kde vstupné údaje predstavujú *zvukové vzorky*.¹²⁸ **Vzorkovanie** je proces tvorby vzoriek signálu, teda meranie veličiny v určených (časových) okamihoch. **Vzorkovacia frekvencia** definuje počet vzoriek za jednotku času (obvykle za 1 sekundu) vypočítaných z analógového signálu pri jeho premene na digitálny signál. Vysoká vzorkovacia frekvencia vedie k menšej strate informácií, ale vyšším výpočtovým nárokom. Nízka vzorkovacia frekvencia má za následok vyššiu stratu informácií, ale je rýchla a jednoduchšia na výpočet.



Obr. 4: Vizualizácia vzorkovacieho procesu – rozdiel medzi vyššou a nižšou vzorkovacou frekvenciou. Zdroj: Audio Sample Rate. In: *DanDans Digital Media*. Dostupné na: <http://www.dandans.com/onlinehelp/glossary/audio-sample-rate.htm>

Pri spracovaní zvukového signálu a jeho transformácii z časovej oblasti do oblasti frekvenčnej pomáha tzv. **Fourierova transformácia**, ktorá čas (signál) rozkladá na jednotlivé frekvencie.

Vizuálnym zobrazením a výstupom Fourierovej transformácie je tzv. **periodogram**, ktorý je odhadom spektrálnej hustoty signálu. **Spektrálna hustota** je spôsob, akým sa opisuje distribúcia výkonu. Frekvenčné spektrum signálu alebo frekvenčný obsah možno považovať za štatistický priemer jeho frekvencií v priebehu času. Spektrálna hustota digitálneho signálu opisuje frekvenčný obsah signálu.¹²⁹ Intervalovou stupnicou frekvencií je tzv. **mel-scale** alebo *melova stupnica*, ktorá odkazuje na to, že poslucháči vnímajú intervaly vo vzájomnej vzdialenosti.¹³⁰ Vizuálnu reprezentáciu spektra frekvencií signálu v čase predstavuje **spektrogram**. Spektrogram môže byť generovaný *Fourierovou transformáciou* alebo *vlnovou transformáciou*¹³¹ (v tomto prípade je známa aj ako škálovanie alebo skalogram). Spektrogramy sa vo veľkej miere využívajú v oblasti

hudby, lingvistiky, seizmológie atď. Zvukové spektrogramy možno použiť na fonetickú identifikáciu hovorených slov a na analýzu rozličných zvukov.¹³²

Reprezentácia znalostí

Jedna z najdôležitejších častí inteligentnej hudobnej produkcie (IMP) je reprezentácia znalostí. Mnoho softvérov, vrátane hudobných softvérov, si chráni *know how*. Zdrojový kód je pre spoločnosti ako iZotope kľúčovým prvkom jedinečnosti softvéru, takže je pochopiteľné, že ho nebudú verejne zdieľať alebo odhaľovať. Pre spotrebiteľa predstavuje tzv. čiernu skrinku. IMP môže predstavovať užitočného pomocníka, ale užívateľ nemá vedomosť o znalostiach alebo dôvodoch rozhodnutí softvéru. Mnohí profesionálni zvukoví majstri preferujú plnú kontrolu nad svojimi nástrojmi, čo sa týka funkcionality, ale aj samotného procesu, akým dosahujú ciele. Existuje viac prístupov na reprezentáciu znalostí v IMP. Jedným z nich je tzv. **Grounded Theory** (ďalej len GT). Hlavným cieľom prístupu GT je vytvoriť formálne pochopenie procesu mixovania, limitov vnímania a použiť toto porozumenie na modelovanie zámeru zvukových majstrov. Toto zhromažďovanie údajov sa uskutočňuje prostredníctvom etnografických štúdií a dôkladným rozborom a analýzou praxe zvukovej úpravy. Praktiky procesu zvukovej úpravy možno pochopiť prostredníctvom komunikácie so zvukovými majstrami. Tento prístup je náročný, pretože jednotlivci často veria určitému súboru pravidiel alebo prístupov bez ohľadu na to, či budú fungovať v inom prípade. Existujú príklady, keď dobrá mixáž vznikla šťastnou náhodou. Kreativita v rámci hudobnej postprodukcie je výsledkom porušovania pravidiel, a nie porozumenia a prispôsobenia sa prísnemu súboru pravidiel.¹³³

Druhým prístupom k reprezentácii znalostí je **expertný systém** založený na znalostiach. Je to prístup s určitou schopnosťou interpretovať poznatky a zdôvodňovať výsledky. Systém založený na znalostiach bude definovať alebo formulovať súbor pravidiel či znalostí o prostredí a potom umožní aplikovať mechanizmus na dosiahnutie cieľov. Tieto pravidlá majú mnoho podôb, ako napríklad programové funkcie *if-then-otherwise*.¹³⁴ Existujú zložitejšie pravidlá, ktoré si vyžadujú určitý optimalizačný prístup na ich vyriešenie. Ide o aktívnu oblasť výskumu a mnohé prístupy identifikujú rôzne aspekty mixáže na optimalizáciu, ako je maskovanie frekvencií, špecifické ciele hlasitosti alebo úprava zvuku do cieľovej referenčnej stopy. Jednou z kľúčových výhod týchto systémov je schopnosť zvážiť viacero možností a nájsť optimálne riešenie. Tento systém je schopný zvážiť, kedy a ako porušiť určité súbory pravidiel a súčasne interpretovať rôzne ciele s rôznymi úrovňami priorit.¹³⁵

Tretí prístup je založený na údajoch – predstavuje to napríklad **strojové učenie**, ktoré sa v posledných rokoch značne rozvinulo. Používa sa napríklad v prípade automatizácie určitého zvukového efektu alebo na finálny mastering. Má schopnosť naučiť sa a aplikovať veľké množstvo nelineárneho spracovania, alebo dokonca vykonať celý mastering skladby v systéme tzv. čiernej skrinky. Primárne aspekty systému riadeného údajmi spočívajú v tom, že porozumenie prebiehajúceho procesu sa získava z údajov. Tieto údaje môže poskytovať jednotlivec. Ide o sériu tréningových príkladov, z ktorých sa systém môže učiť, alebo o rozsiahle kurátorské súbory údajov, napr. Open Multitrack Testbed¹³⁶ alebo MedleyDB.¹³⁷

Aplikácie umelej inteligencie v zvukovej postprodukcii

Pojem „umelá inteligencia“ sa v posledných rokoch stal marketingovo módnym pojmom. Týka sa rôznych druhov strojového učenia, ktoré sa používajú v audio priemysle. Navyše to zahmlieva hranicu medzi softvérmi, ktoré môžu na časť svojej činnosti využívať určitý druh UI, a softvérmi, ktoré pozostávajú výlučne (alebo prevažne) z UI.

V posledných desaťročiach v postprodukčných programoch UI významne zvýšila svoje zastúpenie. Dnes existuje množstvo aplikácií, v ktorých UI našla svoju efektivnosť. Miera aplikácie UI sa v softvéroch rôzneho typu líši. V niektorých softvéroch má UI len parciálnu funkciu. Avšak v niektorých softvéroch nadobúda UI primárnu úlohu. Uvádžeme iba niektoré z mnohých rôznych služieb a aplikácií:

- postprodukčné programy,
- hudobno-produkčné programy,
- iné programy.

Postprodukčné programy

Softvérová spoločnosť **iZotope** používa strojové učenie na navrhovanie postupov spracovania zvuku v softvéri, ktorý sa nachádza v počítači koncového používateľa ako samostatný softvér (*standalone*) alebo ako tzv. *plug-in* vo formáte VST, VST3, AAX či AU, ktoré sa dajú spustiť v softvéroch DAW. Ich produkty zahŕňajú audio mastering softvér, forenzné aplikácie a aplikácie na zvukovú úpravu vo fáze mixu, ktoré budeme využívať vo výskumnej časti práce.¹³⁸

Aplikácie UI v zvukovej postprodukcii sú najrozvinutejšie v prvotnej fáze postprodukcii, teda v oprave a reštaurovaní zle zaznamenaných snímok, a v poslednej fáze zvukovej úpravy, teda v masteringu.¹³⁹ Medzi najznámejšie masteringové aplikácie, využívajúce UI a strojové učenie, patrí **LANDR**.

Cloudová platforma na tvorbu hudby **LANDR** vznikla v roku 2014, keď vyvrcholil výskum v oblasti veľkých dát a strojového učenia v Centre pre digitálnu hudbu¹⁴⁰ (C4DM) na Queen Mary University of London. Montrealská spoločnosť Mixgenius vtedy uviedla na trh produkt **LANDR**, ponúkajúci audio mastering s podporou UI.^{141, 142}

Podobnou aplikáciou je **CloudBounce**, ktorá ponecháva viac možností na koncového používateľa, pokiaľ ide o rozhodovanie, a preto si vyžaduje skúsenejšieho koncového používateľa.¹⁴³ Existuje tiež dlhý rad aplikácií automatického masteringu, ktoré fungujú na základe porovnávania (metóda opísaná v podkapitole *zvuková analýza*). Projekt **Flow Machines** je zameraný na dosiahnutie väčšej hudobnej tvorivosti. Cieľom **Flow Machines** je výskum a vývoj systémov UI, ktoré sú schopné generovať hudbu autonómne alebo v spolupráci s umelcami. Firma uvádza, že z hudobného štýlu, ktorý môže vychádzať od jednotlivých skladateľov, urobí výpočtový objekt, ktorý môže UI čítať, replikovať, spracovať a pracovať s ním.¹⁴⁴

Gullfoss je inteligentný ekvalizér, ktorý vníma audio signál a rozhoduje o jeho úprave. Softvér analyzuje audio signál v reálnom čase a využíva výpočtový (simulačný) model sluchového vnímania na identifikovanie užitočného audio signálu. Ekvalizér **Gullfoss** je schopný zmeniť svoju frekvenčnú odozvu viac ako 300-krát za sekundu bez toho, aby vyvolával počuteľné artefakty a tým zhoršoval kvalitu audio signálu.¹⁴⁵

COSMOS of firmy WAVES je nástroj na vyhľadávanie audio súborov, ktorý dokáže analyzovať veľké množstvo audio súborov a kategorizovať ich do jednej databázy. Softvér automaticky rozpozná obsah audio súboru a označuje ho pomocou UI. Užívateľ potom vie použiť softvér na rýchle vyhľadávanie a lokalizáciu akéhokoľvek audio súboru v databáze.¹⁴⁶

Hudobno-produkčné programy

Umelá inteligencia už nahradila mnoho pracovných miest v rôznych priemyselných odvetviach. Keď sa zistila možnosť automatizovania hudobného tvorivého procesu, spustilo to v kreatívnej kultúre rozruch. Existuje však veľa hudobníkov s pozitívnym názorom na UI ako na podnecujúci prvok smerujúci k novej zlatej ére kreativity. Množstvo hudobníkov a výskumníkov po celom svete vyvíja technológie pre lepšiu dostupnosť UI pre umelcov na celom svete. Zatiaľ čo sa rieši problematika autorského práva UI, hudobníci dúfajú, že táto technológia sa stane demokratizačným nástrojom hudby a prirodzenou súčasťou jej tvorby.¹⁴⁷

Amper Music je cloudová¹⁴⁸ platforma navrhnutá na zjednodušenie procesu vytvárania zvukových stôp pre filmy a videohry, pretože produkuje algoritmy generované umelou inteligenciou, ktoré pomáhajú používateľom vytvárať hudbu v rôznych hudobných žánroch. Webová aplikácia umožňuje tvorcom zvoliť štýl, náladu a dĺžku kompozície a vytvoriť ju tak, aby zodpovedala ich obsahu bez potreby ďalších hudobných vedomostí alebo zručností.¹⁴⁹

Jedným z lídrov v oblasti UI a strojového učenia je Google, ktorý predstavil výskumný projekt **Magenta**. Projekt *Magenta*, na ktorom sa podieľajú výskumníci a inžinieri z tímu Google s podporou ďalších vedcov, skúma úlohu strojového učenia v procese tvorby umenia a hudby. Na základe nového algoritmu hlbokého učenia a posilňovania boli vyvinuté algoritmy učenia na generovanie piesní, obrázkov, kresieb a ďalších materiálov.¹⁵⁰

Spoločnosť s názvom **AIVA Technologies** je pôvodcom hudobnej platformy pre umelú inteligenciu, ktorá umožňuje skladateľom a tvorcom vytvárať originály alebo nahrávať svoje diela a vytvárať tak nové variácie. Tím AIVA Technologies pracuje na vývoji UI, ktorá dokáže tvoriť hudbu pre reklamy, videohry alebo filmy. Okrem toho, že AIVA umožňuje používateľom vytvárať hudbu úplne od začiatku, je možné ju použiť aj na výrobu variácií existujúcich skladieb a eliminuje potrebu prejsť procesom licencovania hudby.¹⁵¹

Watson Beat je projektom spoločnosti IBM a jeho zdrojový kód je voľne dostupný na portáli GitHub.¹⁵² Na vytvorenie kompozícií využíva sieť Deep Belief Network, ktorej stačí jednoduchá hudobná melódia na vytvorenie bohatého a komplexného hudobného materiálu.¹⁵³

Melodrive generuje hudbu v reálnom čase pre interaktívne médiá. Vytvára hudbu, ktorá sa prispôsobuje svojmu mediálnemu prostrediu, a zameriava sa na zosúladenie nálady a celkového štýlu videa.¹⁵⁴

Brain.FM je webová a mobilná aplikácia, ktorá poskytuje atmosférickú hudbu na podporu odpočinku, relaxácie a sústredenia. Aplikácia využíva UI na generovanie hudby navrhnutej na zvýšenie produktivity mozgu a taktiež na usporiadanie hudobných skladieb a pridanie akustických funkcií, ktoré poslucháčom počas 15-minútových sedení umožň-

ňujú vstúpiť do navodených psychických stavov. Táto platforma je vhodná pre ľudí, ktorí trávajú veľa času v práci a ťažko si pri vykonávaní dôležitých úloh udržiavajú sústredenie.¹⁵⁵

ORB Composer je kreatívny hudobný softvér. Jeho algoritmus pomáha umelcom rýchlejšie sa inšpirovať a vytvárať nápady na piesne.¹⁵⁶ K plnohodnotnému využitiu softvéru je však nutné ovládať aspoň základy hudobnej kompozície.¹⁵⁷

MuseNet je hlboká neurónová sieť, ktorá dokáže generovať 4-minútové hudobné skladby s desiatimi rôznymi nástrojmi a kombinovať štýly žánrov rôznych krajín. Softvér vytvorilo výskumné laboratórium umelej inteligencie OpenAI so sídlom v San Franciscu v Kalifornii. Vedci, ktorí stoja za týmto projektom, tvrdia, že systém dokáže dlhodobo analyzovať prehrávanú hudbu a neskôr dokáže porozumieť širokému spektru melódií. Na základe týchto zhromaždených údajov je úlohou systému predpovedať nasledujúcu notu v poradí.¹⁵⁸

Humtap analyzuje ľudský hlas a na základe jeho melódie a rytmu pomocou algoritmov UI vyprodukuje inštrumentálnu hudbu. Užívateľ si dokonca môže zvoliť hudobný štýl, napr. Depeche Mode alebo Metallica. Víziou spoločnosti je budúcnosť, v ktorej si ktokoľvek bez hudobného tréningu, štúdiového vybavenia, finančných zdrojov alebo prístupu k hudobným producentom môže vyrobiť svoj album. Produkciu a postprodukciiu za nich urobí UI, a to všetko za cenu smartfónu.¹⁵⁹

Iné programy

Spotify je veľmi populárna služba na streamovanie¹⁶⁰ hudby, ktorej posluchová knižnica obsahuje milióny skladieb, albumov a podcastov. Ponúka inteligentné zoznamy skladieb s názvom *Discover Weekly*. Zoznamy predstavujú poslucháčom hudbu, ktorú na platforme Spotify ešte nepočuli a ktorá je prispôbená ich hudobnému vkusu. Spotify používa metódu nazvanú *spoločné filtrovanie* na zhromažďovanie čo najväčšieho množstva údajov z posluchového správania používateľa. Na základe komparatívnej analýzy s tisíckami ďalších údajov, ktoré zhromaždil od ostatných používateľov po celom svete, vylepšuje odporúčania novej hudby pre poslucháčov.¹⁶¹

Shazam bola jedna z prvých spotrebiteľmi využívaných služieb UI. Využíva inteligentné algoritmy na to, aby za pár sekúnd počula a identifikovala skladby. Aplikácia poskytne užívateľovi názov skladby, interpreta a ostatné informácie, ako sú texty piesní, životopis umelca, lístky na koncert a odporúčané skladby.¹⁶²

AWS DeepComposer je 32-klávesový MIDI ovládač. Je určený pre vývojárov, aby sa oboznámili s hudbou generovanou UI. Klávesnica má pomôcť vývojárom dozvedieť sa o strojovom učení a vytvárať melódie, ktoré sú v rámci niekoľkých sekúnd transformovateľné do úplne originálnych skladieb, všetko poháňané umelou inteligenciou a bez nutnosti písania jediného riadku kódu.¹⁶³

Záver

Už v prvých počiatkoch vývoja nástrojov na úpravu zvuku vznikali požiadavky na ich efektívnosť v záujme čo najrýchlejšieho dosiahnutia požadovaných výsledkov. Vzhľadom na tieto požiadavky a rýchly technologický rozvoj vznikali nové zvukové procesory

a techniky spracovania zvukového signálu, ktoré uľahčovali špecifické úkony v zvukovej postprodukcii.

Od 40. rokov 20. storočia sa začala vyvíjať umelá inteligencia (UI), ktorá je dnes jednou z hlavných disciplín počítačovej vedy. Jedným zo základných cieľov UI je umožniť počítačom vykonávať intelektuálne úlohy (rozhodovanie, riešenie problémov, vnímanie...) tak, ako ich vykonáva človek. Algoritmy UI sa v dnešnej dobe vyskytujú takmer vo všetkých sférach priemyslu, ako napríklad samoriadiace autá, rozpoznávanie tváre, diagnostika ochorení, automatizované finančné investície. Umelá inteligencia v rokoch 1990 až 2007 nahradila približne 400 000 pracovných miest v USA (predpokladané číslo do konca roku 2022 predstavuje celkom 2 milióny pracovných miest). Od roku 2010 sme boli svedkami vzostupu inteligentných a rýchlych algoritmov strojového učenia a ich postupnej integrácie do softvérov na produkciu a postprodukcii hudby. Technológia sa každým dňom zlepšuje a veľa bežných úkonov zvukovej postprodukcii, ktoré v minulosti vykonávali ľudia, sa dnes deleguje na UI.

Jedným z hlavných problémov hudobnej mixáže zo strany hudobného producenta alebo autora je na jednej strane dostupnosť a na druhej strane komplikovanosť súčasných technológií. Na zvukovú mixáž sú potrebné dobré technické znalosti, ovládanie procesu práce so zvukom, primerane dobré technické nástroje a vybavenie, vytrénované kritické počúvanie a v neposlednom rade aj vhodný akustický priestor. Vízia UI konkurovať alebo vytvoriť alternatívu ku všetkým týmto aspektom môže v budúcnosti viesť k strate pracovných miest mnohých odborníkov v danej oblasti. Je pravdepodobné, že v budúcnosti bude UI s hlbokými neurónovými sieťami ovládať simuláciu kognitívnych operácií a fyzických funkcií, a tým ohrozí pracovné miesta zvukových majstrov. Reklamné rétoriky spoločností produkujúcich softvéry s UI sú postavené na automatizovaní úkonov zvukovej úpravy pomocou UI. Paradoxom je, že v súčasnosti skôr povzbudzujú, než odrádzajú od ľudskej účasti na hudobnej mixáži. Nová generácia postprodukčných softvérov využívajúcich UI umožňuje hudobným producentom aj autorom, aby sa stali zvukovými majstrami. Tým sa rozširuje portfólio ľudí, ktorí by za normálnych okolností neuvažovali o zvukovej úprave svojich hudobných nahrávok vzhľadom na ekonomickú náročnosť aj vynaložené úsilie.

Jedným z cieľov softvérov využívajúcich UI a strojové učenie v procese postprodukcii hudobných nahrávok je podporiť samotných zvukových majstrov automatizáciou rozhodnutí v procese úpravy zvuku. To však vyvoláva otázku, čo vlastne automatizujú, alebo či je automatizácia vôbec tým správnym slovom, keďže firmy a technologické systémy často nanovo definujú ľudské úlohy, o ktorých tvrdia, že ich nahradzujú. UI sa v audio priemysle bude musieť snažiť o navrhovanie algoritmov zameraných na človeka, ktoré zahŕňajú kritické počúvanie aj kreativitu v spolupráci s ľuďmi, a nie prostredníctvom pokusov o ich nahradenie.

UI sa stále vyvíja veľkou rýchlosťou, no výsledky výskumu ešte vždy nie sú plne uspokojivé. Preto vývoj produkčných a najmä postprodukčných softvérov predstavuje stále živú platformu pre budúci výskum v oblasti hudobného umenia.

Štúdia vznikla prepracovaním časti diplomovej práce na tému *Umelá inteligencia v postprodukcii hudobných nahrávok*, obhájenej na Univerzite Konštantína Filozofa v Nitre v roku 2022.

- ¹ Termín UI budeme v práci používať aj na opis zostavy týchto troch prvkov: analýza veľkých dát o hudobných trendoch, strojové učenie zručností zvukového majstra a algoritmy, ktoré sa aplikujú na úpravu zvuku bez zásahu ľudskej činnosti.
- ² Homér pri opise umelých ľudí použil slovo „automata“, ktoré sa často objavuje v jeho dielach *Ilias* a *Odysea*.
- ³ SPANO, Martin: *Umelá inteligencia v orechovej škrupinke – Stručný úvod do umelej inteligencie, strojového učenia, neurónových sietí, hlbokého učenia a robotov*. [Preklad z: *The Artificial Intelligence in a Nutshell: A brief introduction to Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Networks, Deep Learning, and Robots*]. Preklad: Martin Spano. Zdroj: *Živé.sk*, 2019, s. 13. ISBN: 978-80-570-0680-0.
- ⁴ SPANO, c. d., 2019, s. 14.
- ⁵ „Neuróny sú bunky, ktoré zabezpečujú tvorbu, spracovanie a prenos signálov a sú základnou morfológickou a funkčnou jednotkou nervového systému. V nervovom systéme sa nachádzajú rôzne typy neurónov, ktoré sú navzájom prepojené, čím vytvárajú nervové okruhy. V mozgu človeka sa nachádza približne 100 – 200 x 10⁹ neurónov.“ In: MRAVEC, Boris: *Nervový systém I: Morfológická a funkčný podklad signalizácie*. [Online.] Bratislava: SAP, 2013, s. 3. [Cit. 2021-12-05.] ISBN 978-80-89607-10-5. Dostupné na: https://www.fmed.uniba.sk/fileadmin/lf/sluzby/akademicka_kniznica/PDF/Elektronicke_knihy_LF_UK/Nervovy_system_I.pdf
- ⁶ Model McCullocha a Pittsa nie je presnou kópiou biologického neurónu – jeho parametre sú pevne nastavené tak, aby model vykonával požadovanú *Boolean* funkciu (pravda – nepravda). Neurónové siete, zostrojené z týchto neurónov, sa neučia a neadaptujú. Pozri KVASNIČKA, Vladimír – BEŇUŠKOVÁ, Ľubica a kol.: *Úvod do teórie neurónových sietí*. [Online.] Bratislava: Iris, 1997, s. 35. [Cit. 2021-12-05.] Dostupné na: http://www2.fkit.stuba.sk/~kvasnicka/Free%20books/Uvod%20do%20teorie%20neuronovych%20sieti_all.pdf
- ⁷ SEKAJ, Ivan: *Inteligencia stvorená človekom*. Bratislava: FELIA, 2021, s. 5. ISBN 978-80-89824-12-0.
- ⁸ SEKAJ, c. d., 2021, s. 6.
- ⁹ Alan Turing (1912 – 1954) bol počítačový vedec, filozof a kryptológ, ktorý hral rozhodujúcu úlohu pri prelomení nacistického kódu Enigma.
- ¹⁰ Imitačná hra alebo *Turingov test* je spôsob, akým je možné určiť, či vie počítač myslieť. Spočíva v písomnej interakcii človeka s dvomi testovacími objektmi, jedným z nich je stroj a druhým je človek. Ak človek nedokáže rozpoznať umelú inteligenciu alebo človeka na základe písomnej komunikácie, v tom prípade je test ukončený v prospech umelej inteligencie.
- ¹¹ SPANO, c. d., 2019, s. 14.
- ¹² Model von Neumanovho počítača obsahuje operačnú pamäť, aritmeticko-logickú jednotku, radič a vstupno-výstupné zariadenia. Pozri GOLDSTINE, Herman Heine: *The Computer: from Pascal to Von Neumann*. New Jersey: Princeton University Press, s. 204 – 210. ISBN 0-691-02367-0.
- ¹³ SEKAJ, c. d., 2021, s. 8.
- ¹⁴ Dartmouth College, založená v roku 1769, je súkromná vysoká škola *Ivy League* (slovensky doslova *Brečtanová liga*). Dnes sa označenie *Ivy League* používa ako všeobecné označenie pre skupinu najprestížnejších amerických univerzít. Pozri *Dartmouth College: Facts & Information*. [Online.] [Cit. 2021-12-05.] Dostupné na: <https://www.collegedata.com/college-search/dartmouth-college>.
- ¹⁵ Tzv. *Lighthillova správa* (angl. *the Lighthill report*) je názov, ktorý sa bežne používa pre štúdiu *Artificial Intelligence: A General Survey* od Jamesa Lighthilla, publikovanú na sympóziu *Artificial Intelligence: Paper symposium* v roku 1973. Správa mala na financovanie vývoja UI značný negatívny vplyv. Pozri HOWE, Jim: *Artificial Intelligence at Edinburgh University: A Perspective*. [Online.] 2007. [Cit. 2021-12-05.] Dostupné na: <http://www.inf.ed.ac.uk/about/Alhistory.html>
- ¹⁶ SPANO, c. d., 2021, s. 14.
- ¹⁷ **Neurónová sieť**, resp. umelá neurónová sieť (pretože ide o simuláciu biologickú neurónovej siete), je výpočtový model, využívaný v oblasti umelej inteligencie. Simuluje biologické vlastnosti nervových systémov v mozgu.
- ¹⁸ **Perceptrón** ako model neurónu možno považovať za základný prvok umelých neurónových sietí. SINČÁK, Peter – AN-DREJKOVÁ, Gabriela: *Neurónové siete. Inžiniersky prístup*. (1. diel.) Košice: UPJŠ, 1996. [Online.] [Cit. 2021-12-05.] Dostupné na: https://ics.upjs.sk/~novotnyr/home/skola/neuronove_siete/nn_sincak_andrejкова/neuronky1.pdf

- ¹⁹ SEKAJ, c. d., 2021, s. 9.
- ²⁰ SEKAJ, c. d., 2021, s. 9.; RAJEEV, Shrivastav – KRISHNAMOORTHY, C. S.: *Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers*. Indian Institute of Technology Madras: CRC Press, 1996, s. 5 – 8. ISBN 0-8493-9125-3.
- ²¹ SEKAJ, c. d., 2021, s. 10; RAJEEV – KRISHNAMOORTHY, c. d. 1996, s. 5 – 8.
- ²² Počítač piatej generácie iniciovalo japonské Ministerstvo medzinárodného obchodu a priemyslu (MITI) v roku 1982. Cieľom bolo vytvoriť počítače využívajúce masívne paralelné výpočty a logické programovanie. Počítač mal byť výsledkom vládneho výskumného projektu, cieľom ktorého bolo vytvoriť počítače s výkonom podobným superpočítaču a poskytnúť platformu pre budúci vývoj v oblasti umelej inteligencie. Navyše existoval ruský projekt (nesúvisiaci s japonským projektom) pomenovaný aj ako počítač piatej generácie.
- ²³ SEKAJ, c. d., 2021, s. 10 – 11.
- ²⁴ SPANO, c. d., 2021, s. 14.
- ²⁵ Pojem „reálny čas“ znamená, že výpočet všetkých úloh sa musí vykonávať okamžite, synchronne s okolitými vonkajšími udalosťami, objektmi a prostredím, s ktorým robot interaguje.
- ²⁶ *What is artificial intelligence?: Artificial Intelligence (AI)*. [Online.] 3. 6. 2020. [Cit. 2021-4-10.] Dostupné na: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>
- ²⁷ FRANK, Adam: *Are we in an AI summer or AI winter? : Neither. We are entering an AI autumn*. [Online.] 05. 13. 2021. [Cit. 2021-12-06.] Dostupné na: <https://bigthink.com/13-8/are-we-in-an-ai-summer-or-ai-winter/>
- ²⁸ SEKAJ, c. d., 2021, s. 12.
- ²⁹ *What is artificial intelligence?: Artificial Intelligence (AI)*. [Online.] 3. 6. 2020. [Cit. 2021-4-10.] Dostupné na: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>
- ³⁰ Dostupné na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/artificial-intelligence>
- ³¹ „Inteligencia je schopnosť učiť sa, chápať a robiť úsudky alebo mať názory, ktoré sú založené na logickom dôvode.“ In: *Cambridge Dictionary*. [Online.] Cambridge University Press. [Cit. 2021-12-06.] Dostupné na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english>
- ³² NÁVRAT, Pavol a kol.: *Umelá inteligencia*. Bratislava: STU v Bratislave, 2015, s. 2. ISBN 978-80-227-4344-0.
- ³³ NÁVRAT a kol., c. d., 2015, s. 3.
- ³⁴ Úzka UI je naprogramovaná tak, aby vykonávala jednu úlohu – či už je to kontrola počasia, schopnosť hrať šach alebo analyzovanie nespracovaných údajov na písanie žurnalistických správ. JAJAL, Tannya: *Distinguishing between Narrow AI, General AI and Super AI*. [Online.] 5. 12. 2018. [Cit. 2021-12-06.] Dostupné na: <https://medium.com/mapping-out-2050/distinguishing-between-narrow-ai-general-ai-and-super-ai-a4bc44172e22>
- ³⁵ Nanotechnológia je oblasť vedy, ktorá sa zaoberá vývojom a výrobou extrémne malých nástrojov a strojov riadením usporiadania samostatných atómov. In: *Cambridge Dictionary*. [Online.] Cambridge: Cambridge University Press. [Cit. 2021-12-06.] Dostupné na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english>
- ³⁶ Neuroveda je vedecká štúdia nervového systému a mozgu. In: *Cambridge Dictionary*. [Online.] Cambridge: Cambridge University Press. [Cit. 2021-12-06.] Dostupné na: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english>
- ³⁷ SPANO, c. d., 2021, s. 19.
- ³⁸ SPANO, c. d., 2021, s. 18.
- ³⁹ SPANO, c. d., 2021, s. 19.
- ⁴⁰ **Inteligentný agent** je program, ktorý môže robiť rozhodnutia alebo vykonávať službu na základe svojho prostredia, užívateľského vstupu a skúseností. Tieto programy možno použiť na autonómne zhromažďovanie informácií podľa pravidelného, naprogramovaného plánu alebo na výzvu používateľa v reálnom čase.
- ⁴¹ NÁVRAT a kol., c. d., 2015, s. 219.
- ⁴² NÁVRAT a kol., c. d., 2015, s. 218.
- ⁴³ KIM, Kwang Gi: *Deep Learning*. [Online.] 22. 10. 2016. [Cit. 2021-4-15.] ISSN 2093-369X. Dostupné na: <https://synapse.koreamed.org/upload/SynapseData/PDF-Data/1088HIR/hir-22-351.pdf>
- ⁴⁴ *Artificial Intelligence: IBM Cloud Education*. [Online.] 03. 06. 2020. [Cit. 2021-04-26.] Dostupné na: <https://www.ibm.com/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>
- ⁴⁵ *Artificial Intelligence*. [Online.] 2020.
- ⁴⁶ NÁVRAT, Pavol a kol.: *Umelá inteligencia*. 2. Bratislava: STU Bratislava, 2007, s. 86. ISBN 978-80-227-2629-0.
- ⁴⁷ NÁVRAT a kol., c. d., 2007, s. 85.
- ⁴⁸ NÁVRAT a kol., c. d., 2015, s. 21.
- ⁴⁹ NÁVRAT a kol., c. d., 2015, s. 22.
- ⁵⁰ Nejaký výrok sa vyznačuje *kontrafaktualitou*, čiže je *kontrafaktálny* vtedy, keď vypovedá o situácii, ktorá nenastala, ale mohla by nastať, keby sa stalo niečo iné ako to, čo sa naozaj stalo. Pozri: Heslo *Kontrafaktualita*. In: PIAČEK, Jozef: *Pomocný*

- slovník filozofa. Dostupné na: <https://www.jozefpiacek.info/2012/10/kontrafaktualita>.
- 51 MEYER, John-Jules – VELTMAN, Frank: Intelligent Agents and Common Sense Reasoning. In: BLACKBURN, P. – VAN BENTHEM, J. – WOLTER, F. (eds.): *Handbook of Modal Logic, Studies in Logic and Practical Reasoning*, roč. 3, s. 991 – 1029. Amsterdam: Elsevier, 2007. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/46693318_Intelligent_Agents_and_Common_Sense_Reasoning/references
- 52 Je to pravidlo, ktoré sformuloval Gordon Earle Moore (*1929) a ktoré hovorí o tom, že zložitosť integrovaných obvodov, resp. počet tranzistorov v obvodoch, sa každé dva roky zdvojnásobuje, čím sa dosahuje väčšia výpočtová výkonnosť.
- 53 **Antropomorfizmus** je jav, keď sa na neživé predmety, prírodné sily, nadprirodzené bytosti alebo umelé stvorenia (teda aj UI) prenášajú ľudské vlastnosti alebo dokonca priamo ľudská podoba.
- 54 KVASNIČKA, Vladimír – POSPÍCHAL, Jiří – KOZÁK, Štefan – NÁVRAT, Pavol – PAROULEK, Pavel: *Umelá inteligencia a kognitívna veda*. Bratislava: STU Bratislava, 2008, s. 305. ISBN 978-80-227-3080-8.
- 55 SEKAJ, c. d., 2021, s. 36.
- 56 SEKAJ, c. d., 2021, s. 37.
- 57 SEKAJ, c. d., 2021, s. 37.
- 58 Margaret Ann Bodenová (*1936) je profesorkou výskumu kognitívnych vied na Katedre informatiky na univerzite v Sussexe, kde sa vo svojej práci venuje oblasti umelej inteligencie, psychológie, filozofie, kognitívnych a počítačových vied.
- 59 DU SAUTOY, Marcus: *The Creativity Code: How AI is learning to write, paint and think*. London: 4th Estate, 2020. ISBN 978-0-00-828819-8.
- 60 DU SAUTOY, c. d., 2020; KVASNIČKA, POSPÍCHAL, KOZÁK, NÁVRAT, PAROULEK, c. d., 2008, s. 285.
- 61 „Intencionalita je príznakom určitých mentálnych stavov a udalostí spočívajúcich v ich zameraní na niečo v tom, že sú o niečom, alebo že reprezentujú iné entity a stavy vecí.“ Pozri: SEARLE, John: *Intencionalita a jej miesto v prírode. Myseľ, telo, stroj*. Bratislava: BRADLO, 1992, s. 51. ISBN 80-7127-032-6.
- 62 DU SAUTOY, c. d., 2020; KVASNIČKA, POSPÍCHAL, KOZÁK, NÁVRAT, PAROULEK, c. d., 2008, s. 285.
- 63 DÉMUTH, Andrej: Umenie a umelá inteligencia – výzvy a nebezpečenstvá. In: *Espes. The Slovak Journal of Aesthetics*, roč. 9, 2020, č. 1, s. 28.
- 64 David Cope (*1941) je profesorom hudobnej vedy na Kalifornskej univerzite v Santa Cruz.
- 65 Experiment sa uskutočnil na hudobnom festivale klasickej hudby v Santa Cruz, kde David Cope „zrealizoval obdobu slávneho experimentu Alana Turinga“ v kontexte hudobnej tvorby. Pozri: DÉMUTH, c. d., 2020, s. 29.
- 66 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 29.
- 67 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 29.
- 68 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 30.
- 69 SYROVÝ, Václav: *Hudbní zvuk: Příspěvek k teorii zvukové tvorby*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2014, s. 29 – 47. ISBN 978-80-7331-323-4.
- 70 SYROVÝ, c. d., 2014, s. 29 – 47.
- 71 **Binaurálne počúvanie** je definované ako používanie oboch uší na vnímanie zvuku okolo nás. Tak, ako používame dve oči na trojrozmerné videnie, používame dve uši na „dimenzionálne počúvanie“. Binaurálne počúvanie je doslova opakom monaurálneho počúvania. Umožňuje nám lokalizovať zvuk v priestore, určiť jemnosť zvukov, určiť vzdialený zvuk, alebo oddeliť hlas od okolitého hluku v pozadí. Pozri: PRASAD, Bipin Kishore: Binaural hearing: Physiological and Clinical View. In: *Archive of Otolaryngology and Rhinology*. [Online.] 5. 5. 2020. [Cit. 2022-03-08.] ISSN 2455-1759. Dostupné na: DOI:10.17352/2455-1759.000118.
- 72 **Interný model** je nervový systém, ktorý napodobňuje správanie senzomotorického systému a predmetov vo vonkajšom prostredí. Interné modely umožňujú centrálnemu nervovému systému predpovedať dôsledky motorických príkazov a určiť motorické príkazy potrebné na vykonávanie špecifických úloh. Pozri: KAWATO, Mitsuo – WOLPERT, Daniel: Internal models for motor control. In: *Novartis Foundation Symposia*. Eds. Gregory R. Bock, Jamie A. Goode. [Online.] 28. 9. 2007. [Cit. 2022-03-08.] Dostupné na: doi:10.1002/9780470515563.ch16.
- 73 **Spektrogram** je vizuálna reprezentácia frekvenčného spektra signálu meniaceho sa v čase.
- 74 SYROVÝ, c. d., 2014, s. 29 – 47.
- 75 SYROVÝ, c. d., 2014, s. 29 – 47.
- 76 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 29.
- 77 Ahmed Elgammal je riaditeľom centra Art and Artificial Intelligence Laboratory na americkej univerzite Rutgers v New Yorku.
- 78 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 29.
- 79 DÉMUTH, c. d., 2020, s. 30.

- ⁸⁰ Veľké dáta alebo aj *big data* je oblasť informatiky, ktorá sa zaoberá spôsobmi analýzy, systematického získavania informácií a narábania so súbormi údajov, ktoré sú príliš veľké alebo zložité na to, aby sa s nimi mohol vysporiadať tradičný aplikačný softvér na spracovanie údajov.
- ⁸¹ DÉMUTH, c. d., 2020, s. 30.
- ⁸² VERMA, Sourav: Artificial intelligence and music: History and the future perceptive. In: *International Journal of Applied Research*, s. 272. [Online.] University, Churu, Rajasthan, India. 05. 01. 2021. [Cit. 2022-04-05.] ISSN 2394-5869. Dostupné na: DOI: <https://doi.org/10.22271/allresearch.2021.v7.i2e.8286>
- ⁸³ FREEMAN, Jeremy: *Artificial Intelligence and Music — What the Future Holds? : A Brief History of Artificial Intelligence Music Creation*. [Online.] 22. 2. 2020. [Cit. 2021-4-26.] Dostupné na: https://medium.com/@jeremy.freeman_53491/artificial-intelligence-and-music-what-the-future-holds-79005bba7e7d
- ⁸⁴ KANE, Sean: How a pianist became the world's most famous futurist. In: *Business Insider*. [Online.] 19. 05. 2016. [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.businessinsider.com/how-ray-kurzweil-became-famous-2016-3>
- ⁸⁵ EMS vyvinula a preskúmala mnoho dôležitých počítačových hudobných technológií: digitálnu syntézu v reálnom čase, živý vstup z klávesnice, úpravu grafických partitúr, programovacie jazyky pre hudobnú kompozíciu a syntézu.
- ⁸⁶ VERMA, Artificial intelligence and music, c. d., 2021, s. 273.
- ⁸⁷ Medzinárodná konferencia o počítačovej hudbe (ICMC) je medzinárodná konferencia pre výskumníkov a skladateľov počítačovej hudby. Neskôr sa stala každoročným podujatím organizovaným Medzinárodnou asociáciou počítačovej hudby (ICMA).
- ⁸⁸ EMI bol založený na generatívnych modeloch, ktoré slúžili na analýzu existujúcej hudby a na vytváranie nových skladieb na ich základe. EMI vytvoril vyše tisíc rôznych diel na základe diel viac ako 30 skladateľov, ktorí reprezentovali rôzne hudobné štýly.
- ⁸⁹ DA SILVA, Patrício: *David Cope and Experiments in Musical Intelligence*. eClass EKPA: Spectrum Press, 2003, s 19 – 21. Dostupné na: <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MUSIC124/Διαλέξεις/da-silva-david-cope-and-emi.pdf>
- ⁹⁰ BRAGA, Matthew: *The Verbasizer was David Bowie's 1995 Lyric-Writing Mac App*. Vice. [Online.] 11. 01. 2016. [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.vice.com/en/article/xygxpj/the-verbaser-was-david-bowies-1995-lyric-writing-mac-app>.
- ⁹¹ Sony Computer Science Laboratories: *About us*. [Online.] [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.sonycscl.co.jp/about/paris/>
- ⁹² Continuator. [Online.] [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.francoispachet.fr/continuator/>
- ⁹³ SERVICE, Tom: *Iamus's Hello World! review*. [Online.] 01. 06. 2012. [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.theguardian.com/music/2012/jul/01/iamus-hello-world-review?newsfeed=true>
- ⁹⁴ Verejná vysoká škola v Malage, Španielsko.
- ⁹⁵ Francisco José Vico Vela je vedec a inžinier, profesor umelej inteligencie na univerzite v Malage, zaoberajúci sa problematikou automatizovanej počítačovej kompozície a priemyselného dizajnu.
- ⁹⁶ VERMA, Artificial intelligence and music, c. d., 2021, s. 273.
- ⁹⁷ MENCH, Chris: *It Happened: "Daddy's Car" Is a Song Created By Artificial Intelligence*. [Online.] 22. 09. 2016. [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.complex.com/music/2016/09/artificial-intelligence-new-song-daddys-car>
- ⁹⁸ VERMA, *Artificial intelligence and music*, c. d., 2021, s. 273.
- ⁹⁹ **Finálna mixáž** je výsledkom spojenia všetkých zvukových vrstiev, úprav, spracovania a efektov do finálnej podoby zvukovej snímky. Vo všeobecnosti je to hotová monaurálna, stereofonická alebo priestorová snímka, ktorá bude následne mastrovaná a distribuovaná alebo integrovaná do ďalších médií.
- ¹⁰⁰ **Mastering** je poslednou fázou zvukovej úpravy skladby, pričom sa nepracuje s individuálnymi vrstvami, ako to je v prípade zvukovej mixáže, ale už s hlavným stereo záznamom skladby. V tomto procese sa vylepšuje zvuk skladby a v prípade albumu sa taktiež tvorí konzistentný zvuk medzi jednotlivými skladbami. Výstupom masteringového procesu je tzv. *master audio súbor*, z ktorého sa budú tvoriť kópie určené na distribúciu.
- ¹⁰¹ STERNE, Jonathan – RAZLOGOVA, Elena: Machine Learning in Context, or Learning from LANDR: Artificial Intelligence and the Platformization of Music Mastering. In: *Social Media + Society*, roč. 5, s. 2, 06. 05. 2019. [Online.] (2) [Cit. 2022-02-25.] Dostupné na: <https://journals.sagepub>.

- com/doi/10.1177/2056305119847525. DOI: 10.1177/2056305119847525.
- ¹⁰² DE MAN, Brecht – STABLES, Rayan – REISS, Joshua: *Intelligent Music Production*. Audio Engineering Society. New York: Newgen Publishing UK, 2020, s. 35. ISBN: 978-1-315-16610-0.
- ¹⁰³ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 35.
- ¹⁰⁴ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 36; HUBER, David Miles – RUNSTEIN, Robert: *Modern Recording Techniques*. Burlington, MA: Focal Press, ⁸2014, s. 509 – 514. ISBN 978-0-240-82464-2.
- ¹⁰⁵ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 36.
- ¹⁰⁶ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 36 – 37.
- ¹⁰⁷ MANOVICH, c. d., 2020, s. 67.
- ¹⁰⁸ STERNE, RAZLOGOVA, c. d., 2019, s. 76 – 96.
- ¹⁰⁹ STERNE, RAZLOGOVA, c. d., 2019, s. 4
- ¹¹⁰ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 37 – 38.
- ¹¹¹ OWSINSKI, Bobby: *The Mixing Engineer's Handbook*. Boston, MA: Course Technology PTR, ³2014, s. 50 – 58. ISBN 978-1-285-42087-5; STERNE, RAZLOGOVA, c. d., 2019, s. 4 – 5; MOULTON, David: *Total Recording: The Complete Guide to Audio Production and Engineering*. KIQ Productions, 2000, s. 11. ISBN 0967430402 9780967430409.
- ¹¹² BIRCHNELL, Thomas: Listening without ears: Artificial intelligence in audio mastering. In: *Big Data & Society*, roč. 5, č. 2, s. 3. [Online.] 11. 01. 2018. [Cit. 2022-02-25.] Dostupné na: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2053951718808553>. DOI:10.1177/2053951718808553
- ¹¹³ Proces zvukovej úpravy predstavuje spoluprácu medzi klientom a majstrom zvuku. Klient pošle skladbu v individuálnych vrstvách. Zvukový majster na nej pracuje a pošle ju naspäť klientovi. Následne prebieha diskusia a zvyčajne sa vykoná niekoľko revízií. Súčasťou procesu môžu byť však aj osobné stretnutia, na ktorých je prítomný klient. V tom prípade má klient šancu učiť sa a zdokonaľovať sa vo svojom remesle. (OWSINSKI, Bobby: *The Music Producer's Handbook*. Milwaukee, WI: Hal Leonard Books, ²2016, s. 168. ISBN 978-1-4950-4522-6.)
- ¹¹⁴ BIRCHNELL, c. d., 2018, s. 4; OWSINSKI, c. d., 2016, s. 168.
- ¹¹⁵ MOULTON, David: *Total Recording: The Complete Guide to Audio Production and Engineering*. KIQ Productions, 2000, s. 9 – 10. ISBN 10: 0967430402; ISBN 13: 9780967430409; BIRCHNELL, c. d., 2018, s. 2.
- ¹¹⁶ BIRCHNELL, c. d., 2018, s. 2
- ¹¹⁷ Pojem *hudobná produkcia* v štúdiu využíva-me v zmysle úpravy zvukového materiálu.
- ¹¹⁸ MOFFAT, David – SANDLER, Mark B.: Approaches in Intelligent Music Production. In: *Music and the Machine – Contemporary Music Production*, special issue of *Arts*, roč. 8, 2019, č. 4, s. 8 – 9. [Online.] [Cit. 2022-03-07.] Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2076-0752/8/4/125/htm>. DOI:10.3390
- ¹¹⁹ DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 3 – 5; MOFFAT, SANDLER, c. d., 2019, s. 2 – 3.
- ¹²⁰ MOFFAT, SANDLER, c. d., 2019, s. 2.
- ¹²¹ MOFFAT, SANDLER, c. d., 2019, s. 3.
- ¹²² DE MAN, STABLES, REISS, c. d., 2020, s. 39.
- ¹²³ LASKARIS, Niko: How to apply machine learning and deep learning methods to audio analysis. In: *Comet.mol*. [Online.] 2019. [Cit. 2021-12-13.] Dostupné na: <https://www.comet.ml/site/how-to-apply-machine-learning-and-deep-learning-methods-to-audio-analysis/>
- ¹²⁴ MENDELS, c. d., 2019. [Online.]
- ¹²⁵ *IkMultimedia: Master Match*. [Online.] [Cit. 2021-12-17.] Dostupné na: <https://www.ik-multimedia.com/products/trmastermatch/>
- ¹²⁶ MENDELS, c. d., 2019. [Online.]
- ¹²⁷ **Mel frekvenčné kepstrálne koeficienty** signálu (MFCC) sú malým súborom vlastností (zvyčajne okolo 10 – 20), ktoré výstižne opisujú celkový tvar spektrálnej obálky zvuku. V súčasnosti sú jednou z najčastejšie používaných reprezentácií rečového signálu, používaných v problematike rozpoznávania reči. Tieto postupy sú vhodné na oddeľovanie signálov, ktoré vznikli konvolúciou, resp. násobením viacerých zložiek. Pozri HYBEN, Martin: *Rozpoznávanie reči s nízkou výpočtovou náročnosťou*. [Dizertačná práca.] Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2013.
- ¹²⁸ MENDELS, c. d., 2019. [Online.]
- ¹²⁹ STOICA, Petre – MOSES, Randolph: *Spectral Analysis of Signals*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2005, s. 1 – 2. ISBN 0-13-113956-8. Dostupné tiež na: <http://user.it.uu.se/~ps/SAS-new.pdf>.
- ¹³⁰ Názov **mel** pochádza zo slova melódia a odkazuje na to, že stupnica je založená na hudobných intervaloch. Pozri STEVENS, Stanley Smith – VOLKMANN, John – NEWMAN, Edwin B.: A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude of Pitch. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, roč. 8, 1937. [Online.] Cambridge, Massachusetts: Harvard University. 06. 15. 2005. [Cit. 2021-12-17.] Dostupné na: <https://asa>.

- scitation.org/doi/10.1121/1.1915893. DOI: 10.1121/1.1915893
- ¹³¹ Vlnová transformácia signálov je zovšeobecnením spektrálnej analýzy, ktorej typickým predstaviteľom je klasická Fourierova transformácia.
- ¹³² SEJDIC, Ervin – STANKOVIC Ljubisa – DJUROVIC, Igor: Quantitative Performance Analysis of Scalogram as Instantaneous Frequency Estimator: Transactions on Signal Processing. In: *IEEE Transactions on Signal Processing*, roč. 56, Aug. 2008, č. 8, časť 2, s. 3837 – 3845. ISSN 1053-587X. Dostupné na: <https://www.semanticscholar.org/paper/Quantitative-Performance-Analysis-of-Scalogram-as-Sejdic-Djurovic/6a62928ae58d1a35bcfa8dbb13d9b5ce24819108>. doi:10.1109/TSP.2008.924856
- ¹³³ MOFFAT, SANDLER, c. d., 2019, s. 6.
- ¹³⁴ V programovacích jazykoch sú funkcie *if – then – other* základnými príkazmi pre vetvenie. Tieto podmienené príkazy slúžia na vykonanie iného podmieneného príkazu. Vložné príkazy sa teda vykonajú len v tom prípade, keď je splnená určitá podmienka. Pozri MATOUŠEK, David: *C++ bez predchodých znalostí*. Brno: Computer Press, 2016, s. 64. ISBN 978-80-251-4640-8.
- ¹³⁵ MOFFAT, SANDLER, c. d., 2019, s. 6.
- ¹³⁶ **Open Multitrack Testbed** obsahuje viacstopové hudobné projekty a zodpovedajúce metadáta. Cieľom tejto iniciatívy je poskytnúť jediný centrálny databázový zdroj pre viacstopové projekty, ktorý umožňuje jednoduché prehliadanie, filtrovanie a vyhľadávanie na základe metadát. Projekt vznikol v Centre digitálnej hudby Queen Mary University of London. Pozri *The Open Multitrack Testbed*. [Online.] 2014. [Cit. 2022-03-08.] Dostupné na: <http://multitrack.eecs.qmul.ac.uk>
- ¹³⁷ **Medley DB** je súbor anotovaných údajov viacstopových nahrávok bez licencie. MedleyDB bol vytvorený predovšetkým na podporu výskumu extrakcie melódií, ktorý rieši dôležité nedostatky už existujúcich zbierok. Pozri *MedleyDB: A Dataset of Multitrack Audio for Music Research*. [Online.] [Cit. 2022-03-08.] Dostupné na: <https://medleydb.weebly.com>
- ¹³⁸ *Izotope*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.izotope.com>
- ¹³⁹ Osobný rozhovor s hudobným skladateľom a režisérom Františkom Poulom.
- ¹⁴⁰ Centrum pre digitálnu hudbu na Queen Mary University of London je popredná svetová multidisciplinárna výskumná skupina v oblasti hudby a audio technológie. V roku 2001 sa centrum stalo vedúcou britskou výskumnou skupinou pre digitálnu hudbu.
- ¹⁴¹ Spoločnosť výraz „UI“ prijala pre aplikáciu LANDR vo verejných opisoch, ako aj v značke a sloganoch.
- ¹⁴² BIRTCHELL, c. d., 2018, s. 2.
- ¹⁴³ *Cloud Bounce*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.cloudbounce.com>
- ¹⁴⁴ *Flow Machines*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.flow-machines.com>
- ¹⁴⁵ *Sound theory: Gullfoss*. [Online.] [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: www.soundtheory.com
- ¹⁴⁶ *COSMOS Sample Finder*. [Online.] [Cit. 2022-04-05.] Dostupné na: <https://www.waves.com/plugins/cosmos-sample-finder#introducing-cosmos-sample-finder>
- ¹⁴⁷ CARLISLE, Stephen: *Should Music Created by Artificial Intelligence Be Protected by Copyright?* Nova Southern University, 2019. [Online.] 7. 06. 2019. [Cit. 2022-04-06.] Dostupné na: <http://copyright.nova.edu/ai/>
- ¹⁴⁸ **Cloud computing** je termín ktorý sa spája s poskytovaním rôznych služieb prostredníctvom internetu. Tieto služby zahŕňajú nástroje a aplikácie, ako sú dátové úložiská, servery, databázy, siete a softvér.
- ¹⁴⁹ *Amper Music*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.ampermusic.com>
- ¹⁵⁰ *Magenta*. [Online.] <https://magenta.tensorflow.org>. [Cit. 2022-04-07.]
- ¹⁵¹ *Aiva*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.aiva.ai>
- ¹⁵² *Watson – Beat*. [Online.] [Cit. 2022-04-08.] Dostupné na: <https://github.com/cognitive-catalyst/watson-beat>
- ¹⁵³ *Watson Music*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.ibm.com/watson/music/uk-en/>
- ¹⁵⁴ *Melodrive*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.f6s.com/melodrive>
- ¹⁵⁵ *Brain.FM*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.brain.fm>
- ¹⁵⁶ Tento nástroj je zameraný na umelcov, ktorí majú záujem experimentovať s možnosťami tvorby hudby pomocou UI a objavovať nové štýly hudby. Skladby môžete začať vytvárať jednoduchým usporiadaním rôznych hudobných blokov.
- ¹⁵⁷ *Orb Composer*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.orb-composer.com>
- ¹⁵⁸ *Open AI*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://openai.com/blog/musenet/>

- ¹⁵⁹ *Humtap*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.humtap.com>
- ¹⁶⁰ Prehrávanie audio alebo audiovizuálneho obsahu prostredníctvom internetu. Streamovacie služby môžu používateľom umožniť sťahovať skladby alebo filmy, ako aj umožniť používateľom vytvoriť svoju vlastnú obsahovú zbierku.
- ¹⁶¹ PASICK, Adam: Ghost In The Machine: The magic that makes Spotify's Discover Weekly playlists so damn good. In: *Quartz*. [Online.] 21. 12. 2015. Update 25. 06. 2019. [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://qz.com/571007/the-magic-that-makes-spotifys-discover-weekly-playlists-so-damn-good/>
- ¹⁶² *Shazam*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://www.shazam.com>
- ¹⁶³ *Dee Composer*. [Online.] [Cit. 2022-04-07.] Dostupné na: <https://aws.amazon.com/deepcomposer/>

SUMMARY

Artificial Intelligence and Music

The study presents a description of the historical development of artificial intelligence, its basic principles and its integration into audio production and editing software. It captures the issue of AI creativity as a key factor in music production and post-production work. It explains the essential functions of artificial intelligence in software designed for post-production of recorded music and describes the analysis of the input data of software using artificial intelligence for sound editing and its expected software processing. Due to the commercial purpose of these software, the data regarding the internal processes of the software represent proprietary know-how of commercial companies and are not available to the public. The study presents selected companies and post-production programmes (iZotope, LANDR, CloudBounce, Flow Machines, Gullfoss, COSMOS), music production programmes (Amper Music, Magenta, AIVA Technologies, Watson Beat, Melodrive, Brain.FM, ORB Composer, MuseNet, Humtap) and other programmes (Spotify, Shazam, AWS DeepComposer).

Keywords: artificial intelligence; music; post-production; software