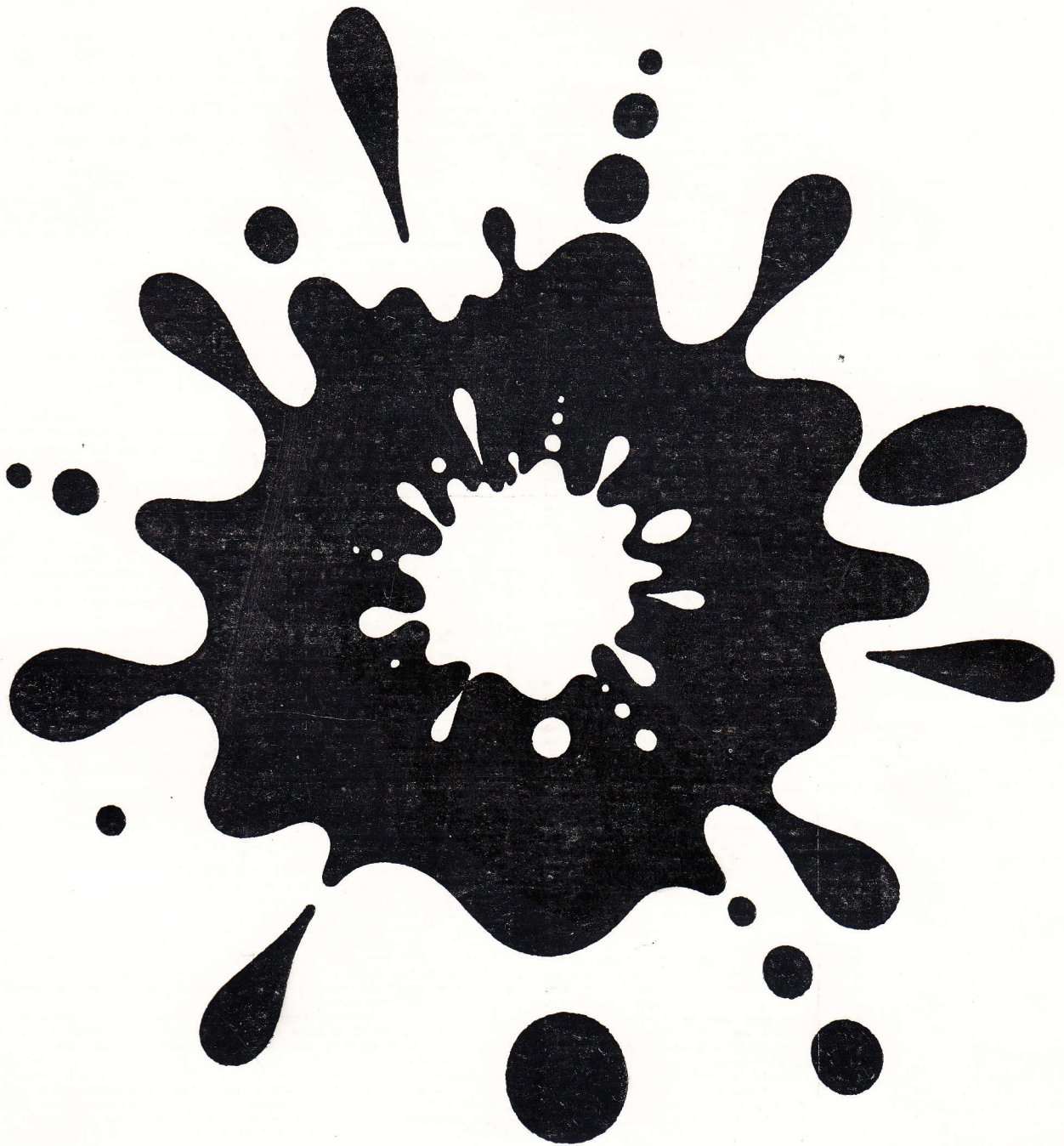


PROBLEMY

miesięcznik popularnonaukowy — rok założenia 1945

12

ISSN 0032-9487
(405) grudzień 1979



Kompozycje muzyczne z komputera

Ryszard Tadeusiewicz
doktor inżynier

Aleksander Sodo
magister inżynier,
Instytut Informatyki i Automatyki,
Akademia Górniczo-Hutnicza,
Kraków

Sztuka komputerowa nie jest „twórczością” typu komputerowych wydruków kalendarzy lub przebojów wykonywanych przez elektroniczne obwody maszyny, uruchamiane odpowiednim programem. Także utwory muzyczne wykonane przy użyciu wszelkiego rodzaju syntetyzatorów czy innych instrumentów elektronicznych, błędnie nazywanych niekiedy komputerami, nie należą do klasy muzyki komputerowej. Zaliczamy je do muzyki elektronicznej czy konkretnej. Muzyka komputerowa to utwory skomponowane przez maszynę cyfrową pracującą według określonego programu.

Metody komponowania w sposób mechaniczny (kombinatoryczny, wizualny itp.) mają dłuższą historię, niż się na ogół przypuszcza, i wcale nie powstały dopiero z chwilą pojawienia się pierwszych elektronicznych maszyn liczących.

Krótką historia mechanicznych metod komponowania

Pionierami w tej dziedzinie są Chińczycy, którzy z górą 1000 lat temu używali metody I Ching, polegającej na określeniu pierwszych elementów frazy melodycznej rzutami kostki. W Europie pierwszą metodę komponowania, opartą na zasadach matematycznych, opracował w XVII w. niemiecki jezuita Ahanasis Kircher w 500-stronicowym elaboracie „Mesurgia universalis sive ars magna consoni et dissoni”, przy czym praca ta bardziej przypomina traktat filozoficzny niż podręcznik muzyki. Badania mechanizacji komponowania bardzo rozwinęły się w następnym wieku. Najbardziej znane dzieło z tego okresu to traktat Philippa Krinbergera, ucznia Jana Sebastiana Bacha, wydany w 1757 r. w Berlinie, w którym to Krinberger podaje przepis na układanie polonezów i menuetów przy użyciu kości do gry. Sam Bach także ponoć bardzo chętnie zajmował się tego rodzaju grami muzycznymi i rebusami. Za przykład może posłużyć jedna z fug, która grana od początku do końca, a następnie odbita w lusterku i wykonana w odwrotnym kierunku jest prawie identyczna.

Drugim wielkim kompozytorem, który chętnie rozwiązywał matematyczne łamigłówki, był Mozart. Przypisuje się mu autorstwo najslawniejszej książki o kombinatorycznym tworzeniu muzyki, która ukazała się pod tytułem „Musikalisches Würfespiel” w 1792 r. jednocześnie w Amsterdamie i Berlinie. Sposób komponowania opisywany w „Musikalisches Würfespiel” opierał się na 16 rzutach dwiema kostkami i kartach, które interpretowały wynik rzutu. System zapewnił ponadto zachowanie reguł przyjętych w strukturze danego utworu i gwarantował aż 11¹⁴ różnych wyników. Książkę tę tłumaczono na wiele języków i wielokrotnie wznawiano. Dalsze prace w tej dziedzinie ograniczyły się do powielania starych pomysłów.

Jako ciekawostkę odnotować można komponowanie metodą milimetryzacji, tzn. przenoszenia

konturów rysunku, fotografii czy wykresu na papier milimetrový, tak że jednostka rzędnej odpowiada wysokości nuty, a jednostka odciętej — metrycznej wartości nuty. Wynik zostaje następnie przeniesiony na papier nutowy jako melodia. W ten sposób Brazylijczyk Villa-Lobos w 1946 r. napisał „Muzykę Nowego Jorku” — korzystając z panoramy miasta.

Zmianę wprowadziło dopiero skonstruowanie elektronicznej maszyny cyfrowej otwierającej przed komponowaniem mechanicznym, które w tej fazie przerodziło się w komponowanie komputerowe, nowe, nieznane możliwości.

Zastosowanie komputera w komponowaniu muzyki

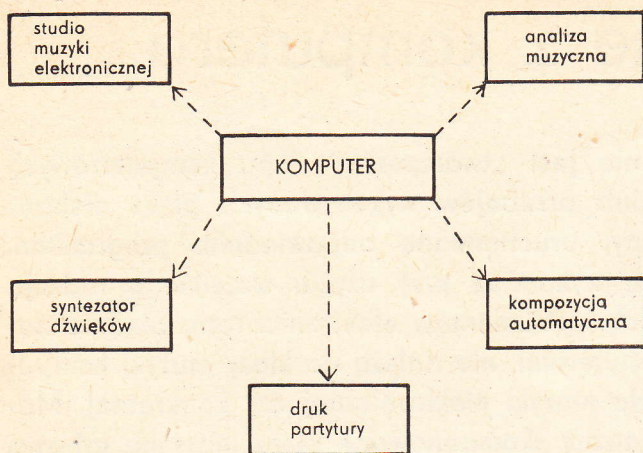
Chcąc zrozumieć, dlaczego komputery mogą być używane do komponowania muzyki, należy zdać sobie sprawę z faktu, że potrafią one wykonywać działania arytmetyczne oraz podejmować decyzje logiczne.

Czynności te współczesne komputery wykonują bardzo szybko; przykładowo, czas wykonania prostego działania lub podjęcia prostej decyzji (typu „tak — nie”) może wynosić milionową część sekundy. Nic dziwnego, że w tej sytuacji komputer może w krótkim czasie przeanalizować setki wariantów, generując je na przykład losowo i oceniając według założonych (nawet bardzo skomplikowanych) kryteriów.

Program maszyny cyfrowej, który jest ciągiem następujących po sobie poleceń, obliczania lub podejmowania decyzji, może opisywać różnorodne procesy, a więc także związane z tworzeniem muzyki.

W zakresie zastosowań muzycznych możemy wyróżnić pięć podstawowych zagadnień, do opracowania których stosuje się komputery. Podział ten należy traktować raczej w sposób orientacyjny, ponieważ najczęściej wykorzystanie maszyny cyfrowej obejmuje nie jeden, a kilka z tych zagadnień, w dodatku tak ze sobą powiązanych, że wyznaczanie jakichkolwiek granic jest sztuczne. Tak więc do zagadnień tych należą:

- Sterowanie elektronicznym sprzętem muzycznym. Do najważniejszych elementów studia muzyki elektronicznej można zaliczyć wszelkiego rodzaju syntetyzatory, filtry, miksery czy magnetofony.



Ryc. 1. Przykłady zastosowań komputera w dziedzinach związanych z muzyką.

fony. Praca w takim studio, przy ręcznym sterowaniu tymi wszystkimi urządzeniami, jest bardzo uciążliwa i długotrwała. Wymaga ciągłego zestawiania żądanych parametrów na każdym urządzeniu, sprawdzania jakości nagrywanego dźwięku, nagrywania go na taśmę, a wreszcie, najbardziej kłopotliwego, splatania z sobą osobno nagranych efektów. W dodatku wszystkie te czynności są wykonywane z małą dokładnością, a wprost niemożliwe jest odtworzenie sytuacji z przeszłości.

W takich warunkach na przykład opracowanie napisanego z okazji XX Igrzysk Olimpijskich utworu Krzysztofa Pendereckiego „Ekecherija” trwało w Studio Eksperymentalnym Polskiego Radia kilkadziesiąt godzin. Problemy te rozwiązuje minikomputer, który wykonuje powyższe czynności wielokrotnie szybciej i dokładniej niż ludzka ręka, a w dodatku może pamiętać wszystkie poprzednie kombinacje. Najbardziej znane studia, w których pracują już minikomputery, to: Bell Laboratories w New Jersey, Columbia — Pincerton Electronic Music Center, Studio Petera Zinovieffa w Londynie wykorzystujące system MUSYS, studio w Kolonii, studio Königa na uniwersytecie w Utrechcie czy Electronic Music Studio, zaprojektowane przez Knuta Niggena w Sztokholmie, dysponujące komputerem PDP—15/40 produkcji amerykańskiej z oprogramowaniem przeznaczonym wyłącznie do celów muzycznych.

● *Synteza dźwięku.* Metoda syntezy dźwięku polega na tym, że maszyna cyfrowa dokonuje obliczenia każdego punktu fali przedstawiającej dźwięk. Dla każdej sekundy brzmiącego dźwięku potrzeba około pięciu tysięcy takich działań. Wyniki obliczeń zbierane są w formie cyfrowej na taśmie magnetycznej, a następnie przetworzone na ciągły przebieg zmiennego napięcia. Ten nowy sygnał jest następnie utrwalony za pomocą zwykłego magnetofonu na taśmie magnetycznej. Dobierając odpowiednio parametry fali, możemy uzyskiwać dźwięki o różnej wysokości czy barwie.

● *Druk partytury muzycznej.* Maszyny cyfrowe mogą również ułatwiać powielanie i zapisywanie muzyki. Dotychczas nie wynaleziono zadawalającej metody mechanicznej, która mogłaby rozwiązać skomplikowany i złożony problem druku notacji skomplikowanej. Tradycyjny sposób drukowania nut wymaga ręcznego przygotowania partytur muzycznych w postaci rysunku, co wpływa na wy-

sokie ceny wydawnictw muzycznych. Obecnie często muzyka nagrana na płycie jest tańsza od jej partytury wydanej w formie nutowej. Na uniwersytecie w Illinois skonstruowano elektryczną maszynę do pisania muzyki, która przygotowuje zakodowaną pięciokanałową perforowaną taśmę i może być przez nią sterowana. Maszyna ta działa w obu kierunkach i może także drukować muzykę. Jeśli na przykład piszemy na maszynie partyturę, to podłączony mechanizm perforuje taśmę, która krok po kroku utrwała w formie kodu każdy symbol muzyczny wystukany na maszynie. Kiedy z kolei umieścimy tę taśmę w urządzeniu odczytującym — maszyna do pisania powtórzy dosłownie poprzednio wykonany zapis. Możemy również otrzymaną w ten sposób taśmę perforowaną wykorzystać do wprowadzania zawartej w niej informacji do maszyny cyfrowej. Maszyna może w tym przypadku np. wydzielić i osobno wydrukować partie poszczególnych instrumentów, co znacznie przyspiesza proces opracowania partytury.

● *Analiza muzyczna.* Za pomocą komputera można przeprowadzić analizę dwojakiego rodzaju. Pierwszy rodzaj — to analiza akustyczna, która jest procesem odwrotnym niż synteza dźwięku. Takie odwrócenie procesu syntezy przez maszynę cyfrową, zawierającą program potrzebny do obliczenia transformaty Fouriera, daje w rezultacie analizę akustyczną nawet dla procesów przejściowych. Drugi rodzaj analizy to analiza statystyczna złożonych struktur muzycznych na podstawie teorii informacji. Analiza ta, wykonana przez komputer, pozwala ustalić nowe, nie określane dotąd cechy charakterystyczne dzieł danego kompozytora czy kompozytorów należących do tego samego stylu. Umożliwia to między innymi identyfikację anonimowych kompozycji. Z użyciem komputera przeprowadzono np. analizę osiemnastu kwartetów smyczkowych Haydna, Mozarta i Beethovena oraz pierwszą część symfonii opus 21 Antona Weberna. W Polsce przeprowadzono dotąd analizę mazurków Chopina za pomocą maszyny ODRA 1204.

● *Komponowanie utworów muzycznych.* Proces komponowania przy użyciu maszyny cyfrowej opiera się zwykle na następującym schemacie:

a) Komputer wytwarza losowe liczby reprezentujące takie elementy muzyczne, jak wysokość, rytm, dynamika i inne.

b) Następnie poddaje każdą taką losową liczbę całej serii testów, które odpowiadają zasadom kompozycyjnym i stylistycznym, ustalonym i zaprogramowanym przez kompozytora.

c) Jeżeli losowa liczba spełnia warunki testów, zostaje zachowana, jeśli nie — odrzucona. W takim przypadku maszyna cyfrowa wytwarza nową losową liczbę i cały proces powtarza się.

d) Gdy dana kompozycja jest już gotowa, zostaje wydrukowana w kodzie cyfrowo-literowym lub w innej postaci, zależnie od potrzeb kompozytora.

Mówiąc bardziej ogólnie, na proces ten składają się dwa stadia: wytworzenie przypadkowej muzyki, która jest chaosem dźwiękowym, a następnie wprowadzanie w tym chaosie porządku muzycznego przez wyeliminowanie niepożądanych elementów. Oczywiście ten schemat charakteryzuje pro-

ces komponowania jedynie w ogólnych zarysach, gdyż podanie szczegółowej procedury tworzenia utworu muzycznego jest niemożliwe ze względu na fakt, że każdy kompozytor opracowuje swoją indywidualną metodę, używaną niekiedy tylko do jednego gatunku utworów.

Przegląd ważniejszych metod kompozycji komputerowych

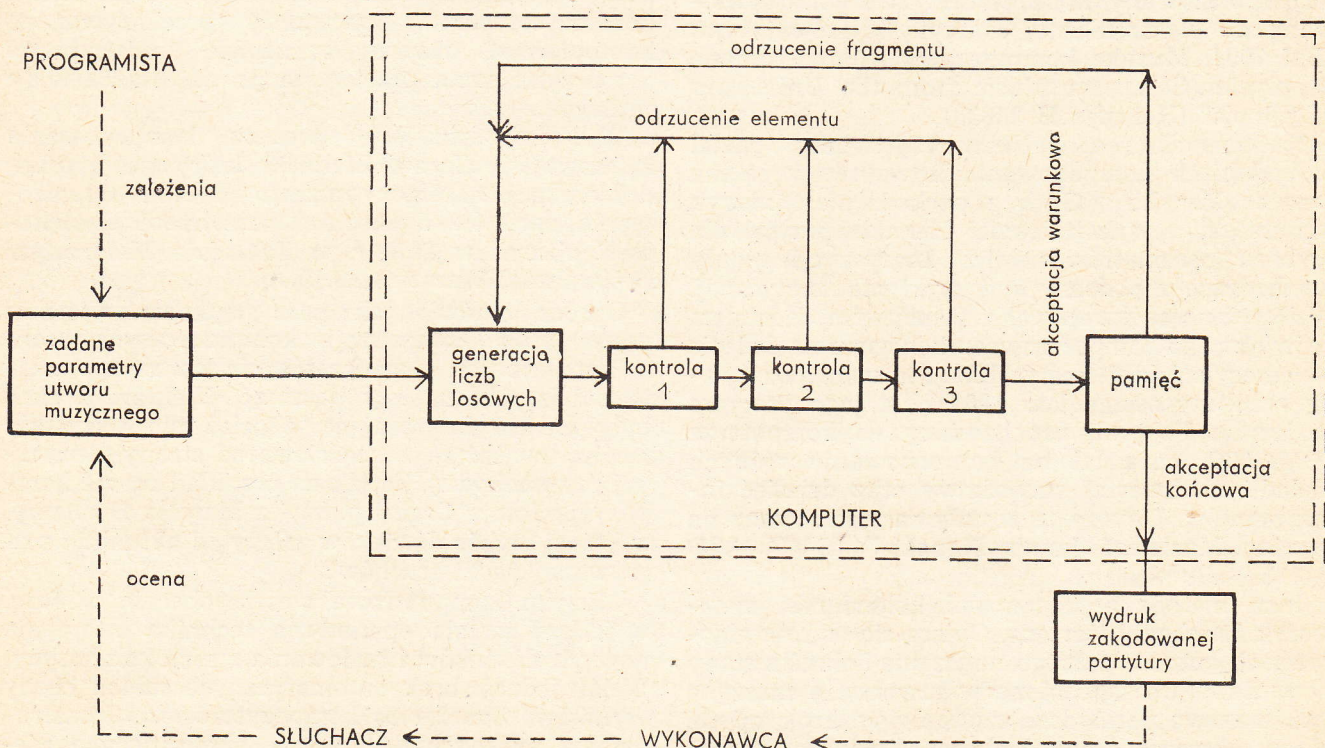
Jedną z pierwszych prób kompozycji komputerowej wykonali w latach pięćdziesiątych Lejaren A. Hiller i Leonard M. Isaacson na uniwersytecie Illinois, używając maszyny cyfrowej ILLIAC. Właściwym założeniem ich prac nie było stworzenie określonego utworu muzycznego, lecz przeprowadzenie badań wykorzystania możliwości maszyny cyfrowej w tej dziedzinie. Serię badań ukończyli w 1957 r., a wyniki tych doświadczeń ujęli w czteroczęściową kompozycję na kwartet smyczkowy, zatytułowaną „Illiac Suite for String Quartet” — od nazwy maszyny cyfrowej. Wybór padł na kwartet smyczkowy, ponieważ w tym czasie nie dysponowali środkami, pozwalającymi na elektroniczną syntezę dźwięków. Pierwsze publiczne wykonanie kompozycji odbyło się 9 sierpnia 1956 r. na koncercie w uniwersytecie Illinois, a więc jeszcze przed ostatecznym zakończeniem prac, bez czwartej części suit. Każda z czterech części tego utworu przedstawia kolejne studium określonego problemu: część pierwsza — studia podstawowych procesów komponowania za pomocą maszyny cyfrowej w odniesieniu do techniki polifonicznej; część druga — badanie typowego przykładu muzyki tradycyjnej, mianowicie pierwszego gatunku ścisłego kontrapunktu, w celu wykazania, że konwencjonalne metody komponowania mogą być podporządkowane logice maszyny cyfrowej; część trzecia — badania kilku współczesnych technik

kompozytorskich dla ukazania pokrewieństwa między eksperymentami komponowania komputerowego a muzyką współczesną; część czwarta — studia muzyki stochastycznej, która szczególnie wymaga użycia maszyny cyfrowej, gdyż jest oparta na abstrakcyjnych funkcjach prawdopodobieństwa.

Procedura komponowania „Illiac Suite” była dość złożona i była wzorowana na programach analizy związków molekularnych. Miał na to wpływ fakt, że Hiller jest z wykształcenia chemikiem, a nie racje natury muzycznej czy matematycznej. Procedura ta opierała się na procesach Markowa. Prawdopodobieństwa osiągnięcia przez zmienną losową odpowiednich przyszłych wartości zależą w tych procesach jedynie od jej aktualnej wartości, a nie od wszystkich poprzednich. Jeżeli za zmienną losową przyjąć brzmienie kolejnych dźwięków, to prawdopodobieństwa usłyszenia dźwięków z jakiegoś zbioru zależą tylko od tego, jaki dźwięk je poprzedzał.

Schemat układu zastosowanego do kompozycji „Illiac Suite” można zaprezentować jako typowy przykład procesu komponowania komputerowego. Omawiany dalej program kompozycji fugi, skonstruowany przez autorów niniejszego artykułu, zbudowany był w sposób analogiczny.

Jak wynika z ryciny, zadane parametry mającego powstać utworu są kodowane i wprowadzane do maszyny. Liczby określające kolejne dźwięki wytwarzane są w generatorze liczb losowych. Każda z tych liczb przechodzi następnie przez serię układów selekcji. Jeśli liczba zostanie w którymś układzie wyeliminowana jako niezgodna z przyjętymi regułami, układ selekcji sygnalizuje odrzucenie, powodując tym samym wywołanie podprogramu nakazującego ponowną generację liczby losowej i jej powtórne sprawdzenie. Gdy zdarzy się, że pięćdziesiąt liczb pod rząd nie zo-



Ryc. 2. Ogólny schemat systemu automatycznej kompozycji z wykorzystaniem komputera. Według takiego schematu działa omawiany w artykule program komponujący fugi.

stanie przyjętych, wszystkie warunkowo uzyskane do tej pory liczby są wymazywane z pamięci i program zaczyna się jeszcze raz od początku. Zakończenie programu następuje w momencie skompletowania zbioru liczb przyjętych warunkowo, który wystarcza do pełnego określenia utworu muzycznego. Akceptacja końcowa powoduje wydrukowanie wyników i ich rozszyfrowanie do postaci umożliwiającej wykonanie kompozycji.

Kontynuacją tych prac było stworzenie przez Hillera wspólnie z Robertem Bakerem w czerwcu 1963 r. kompozycji „Computer Cantata”. Jest ona bardziej skomplikowana od poprzedniej. Stanowi zwartą stylistycznie całość, składającą się z pięciu stron, wokół których zgrupowane zostały w porządku symetrycznym trzy prologi i trzy epilogi.

Jest także bardzo bogato zinstrumentowana (na flet, klarnet basowy, trąbkę, skrzypce, altówkę, gitarę, kilka instrumentów perkusyjnych, instrument elektroniczny — teramin albo fale Martenota, magnetofon i głos sopran).

Pod względem techniki kompozycji „Computer Cantata” jest oparta na nowej koncepcji komponowania. W przeciwieństwie do programowania „Illiac Suite”, która była pomyślana jako szereg specyficznych rozwiązań problemów, nowy typ programowania kompozycji opiera się na logicznej koncepcji, która w swoim założeniu jest niezależna od jakiegokolwiek specyficznego stylu historycznego albo innego. Zgodnie z tą koncepcją proces programowania zakłada następujące decyzje:

- decyzje proceduralne, które są ujęte w głównym programie i które nie ulegają zasadniczym zmianom w zależności od danej kompozycji;

- decyzje elementarne, które są zawarte w podprogramach i są różne dla różnych kompozycji.

To one właśnie decydują o rzeczywistym stylu i strukturze danej kompozycji. Całość tej koncepcji została ujęta w ogólny system programowania, nazywany MUSICOMP. Jest on dostosowany do elektronicznej maszyny cyfrowej typu IBM 7094. Muzykę komputerową Hillera wydano na płycie „Computer Music from the University of Illinois” (Heliodor H 25033).

Na gruncie europejskim największy udział w badaniach komponowania komputerowego ma Iannis Xenakis, Grek z pochodzenia, muzyk i architekt z wykształcenia. Xenakis przyjął dla wyboru parametrów swoich kompozycji reguły wychodzące z podstaw statystyki matematycznej. W Paryżu współpracował z francuskim oddziałem największego komputerowego koncernu na świecie — amerykańskiej firmy IBM. Pierwsze pozytywne rezultaty osiągnął w 1962 r., a jego program w języku Fortran, uruchamiany na komputerze IBM-7090, pozwalał na komponowanie różnych melodii na kwartet smyczkowy oraz dziesięć instrumentów. Utwory te zostały zarejestrowane na płycie „Music of Iannis Xenakis” (HMV ASD 2441).

Inną metodę zaproponował holenderski matematyk Lambert Meertens. Opiera się ona na algorytmach automatycznego nauczania i określa stany dozwolone lub zabronione w utworze, a maszyna każdorazowo sprawdza, czy kolejny krok mieści się w obszarze dopuszczalnym. Jeśli nie, proponuje inne wartości losowe.

Bardzo ciekawy system nazwany ZASP zapro-

ponował Allan Sutcliffe. W tym systemie kompozytor ustala ogólne założenia dla utworu, resztę zaś określają serie liczb losowych generowane przez program. Do wad tego systemu należy bardzo duża liczba odwoływania się do programu losującego, nawet przy komponowaniu bardzo krótkich utworów.

Pierwszą liczbą losową jest wartość z przedziału między dwieście a sześćset, ustalająca, ile sekund ma trwać utwór. Następne liczby określają czas trwania poszczególnych części, przy założonej długości całego utworu. Podobnie każda z części jest dzielona na fragmenty. W kolejnym etapie uzyskuje się sześć zbiorów wartości, precyzujących konkretne tony w każdym z fragmentów. Wyniki prac maszyn podawane są w postaci drukowanej partytury i taśmy perforowanej dla instrumentów elektronicznych. Ze względu na ich zastosowanie Sutcliffe użył zapisu operującego skalą około dziewięćdziesięciu nut w oktawie. Ponadto sprecyzował parametry określające czas narastania nuty, ustalania się i opadania sygnału oraz odcinek ciszy przed następną nutą. Dane dotyczące każdej nuty wyrażone są siedmioma liczbami, bo oprócz wyżej wymienionych parametrów dochodzą jeszcze natężenie i postać fali dźwiękowej. Wprowadzone w tej metodzie ograniczenie losowości dało zadowalające efekty w postaci interesującej zmienności strukturalnej dalekiej od monotonii, jaką niesie przypadek nieukierunkowany.

Wraz z rozwojem teorii programowania główne prace poszukiwań kompozytorskich przesunęły się z samych maszyn na algorytmy i programy. Powstawały tzw. języki problemowo zorientowane, tworzone dla poszczególnych zastosowań komputerów. Spowodowało to powstanie kilku języków programowania dla potrzeb muzyki. Prawdopodobnie najlepszym z nich jest assembler EUTERPE, który napisał Stephen W. Smolinar. Dzięki niemu kompozytor określa parametry przekazywanego komputerowi utworu w zapisie tradycyjnym, a maszyna sama przetwarza je na własne kody liczbowe.

W Polsce symulacją procesu komponowania zajmował się Gerard Zieliński, który swoją pracę doktorską pt. „Algorytmizacja procesu organizowania punktów dyskretnej przestrzeni dźwiękowej” obronił w 1970 r. w Zakładzie Matematyki Politechniki Warszawskiej.

Oprócz omówionych prac wykonano jeszcze wiele prób kompozycji komputerowych, które z konieczności ograniczenia się do rzeczy najistotniejszych musimy pominąć. Niektóre z nich były bardzo interesujące, chociaż nie wszystkie można uważać za wartościowe od strony muzycznej czy naukowej, bo jak na przykład ocenić kompozycję Johna Cage i plastyka Marsela Duchamp, w której wybór dźwięków zależy od aktualnie rozgrywanej partii szachów?

Muzyka komputerowa weszła obecnie w fazę, w której została opanowana technika tworzenia nowych dźwięków i budowania z nich kompozycji. Wciąż jednak brak automatycznych metod oceny wyników. Zmusza to kompozytorów do konstruowania własnych ograniczeń, eliminujących niewłaściwe kombinacje dokonywane przez komputer.

Próby automatycznej kompozycji na AGH w Krakowie

Opierając się na danych literaturowych, których skrócony przegląd podano, podjęliśmy próbę automatycznej kompozycji utworu muzycznego (fugi) z wykorzystaniem maszyny cyfrowej Odra 1304. Wybrano formę fugi, ponieważ w niej, jak chyba w żadnym innym utworze muzycznym, obowiązują sztywne, matematyczne niemal reguły harmonii, ścisłego kontrapunktu i kompozycji. Reguły te względnie łatwo można sformalizować i zakodować w postaci odpowiedniego algorytmu dla maszyny cyfrowej. Jedynym elementem, w którym inwencja kompozytora fugi nie jest ograniczona, jest wybór tematu. Temat może być jednoczłonowy (*attaca*), dwuczłonowy (*soggetto*) lub trzyczłonowy (*andamento*). Przy wyborze tematu do komponowania przez komputer fugi odwołano się do mistrza Jana Sebastiana Bacha, dokonując analizy komputerowej 45 tematów jego fug, zebranych w dwóch tomach zbioru „Das wohitemperierte Klavier”. Po odpowiednim zakodowaniu i wprowadzeniu do maszyny rozważanych utworów muzycznych dokonano analizy budowy strukturalnej tematów (typ, podstawa rytmu, czas trwania, liczba taktów itp.), analizy zależności harmonicznych występujących w linii melodycznej oraz analizy związków wartości rytmicznych występujących w temacie. Dla każdej z wymienionych analiz obliczono na podstawie danych z utworów J. S. Bacha tzw. funkcje rozkładu poszczególnych parametrów (na przykład stopnia tonacji rozpoczynającego temat lub pojedynczego interwału występującego pomiędzy dwoma sąsiednimi dźwiękami), będące podstawą do dalszych analiz.

Na podstawie wyników tych analiz podjęto próbę kompozycji komputerowej. Program komponujący miał typową strukturę, tj. dokonywał losowania parametrów kolejnych dźwięków (takich jak wysokość dźwięku lub czas trwania), a następnie sprawdzał zgodność wylosowanego dźwięku (w kontekście już zapamiętanych) z przyjętymi regułami. Jeśli zaakceptowanie dźwięku było możliwe, dokonywano dopisania do pamięci i kolejnego losowania. Jeśli nie — próba była ponawiana. Po większej liczbie nieudanych prób automatycznie kasowano pewien fragment już skomponowanego utworu i próbowano od początku. Przy losowaniu wykorzystywano wyniki wcześniej dokonanej analizy fug J. S. Bacha. W programie stosowano między innymi następujące reguły kompozycji:

1. W pierwszym członie tematu musi wystąpić skok w górę lub w dół o interwał minimum pięciu półtonów.
2. Po skoku musi następować pochod w przeciwną stronę o dwa lub trzy półtony.
3. Temat może rozpoczynać się tylko od pierwszego lub piątego stopnia tonacji.
4. Jeżeli temat rozpoczyna się od pauzy, musi potem nastąpić piąty stopień tematu na słabej części taktu.
5. W czole tematu muszą pojawić się przynajmniej dwa składniki akordu toniki.
6. Trzy kolejne dźwięki nie mogą stanowić rozłożonego trójdźwięku.

Na podstawie tych reguł skomponowano kilka tematów fug. Przedstawienie tych kompozycji nie uprzedzonym słuchaczom pozwoliło upewnić się, że próba była udana. Kompozycje były „szkolnie poprawne”, jakkolwiek ich strona estetyczna pozostawiała nieco do życzenia. Przypuszczalnie lepsze efekty można otrzymać poszerzając poprzedzającą proces kompozycji analizę, np. bazując na tematach stu fug J. S. Bacha, zawartych w „Kunst der Fuge”. Podkreślić jednak trzeba pracochłonność tego typu przedsięwzięć. Samo tylko kodowanie utworów muzycznych przed ich wprowadzeniem do maszyny cyfrowej zajmuje dziesiątki godzin pracy, nie licząc pisania programów i analizy wyników.

Komputer — twórca prawdziwej sztuki czy producent plagiatów?

Na zakończenie należy poruszyć problem, który niemal nierozdzielnie towarzyszy wykorzystaniu komputera w różnych dziedzinach sztuki, a mianowicie — czy taka działalność jest twórczością artystyczną?

Zwolenników tych eksperymentów jest mniej więcej tyle samo co przeciwników. Na ten temat napisano już setki rozpraw, powołując się nawet na autorytet Arystotelesa czy św. Franciszka, wygłoszono tysiące, niekiedy całkiem sprzecznych, opinii, poczynając od bezkrytycznego zachwytu, a kończąc na takich wypowiedziach jak: „Mam większe uznanie dla malującego szympansa — w jego sztuce można przynajmniej odnaleźć ludzkie pierwiastki, prześliski wzruszenia. Najprymitywniejsza małpa bije na głowę bezmyślny mechanizm”. Tak skrajnie sprzeczne poglądy wynikają z faktu, że sztukę komputerową (podobnie jak każde nowe zaskakujące zjawisko) oceniamy z nawyku w konwencjonalnych kategoriach i przymierzamy ją do przyjętych z dawien dawna kryteriów. Nasze upodobania estetyczne nie należą do najbardziej postępowych. Są zbyt historyczne, obarczone zwłaszcza pierwiastkami epoki romantyzmu.

Najwłaściwszy jest chyba pogląd, że „wartość śladu artystycznego, jaki pozostawia komputer w sztuce, zależy przede wszystkim od sposobu wykorzystania maszyny przez człowieka”. Artysta ma pełną swobodę w poszukiwaniu formy dla treści, którą chce przekazać, i jeżeli decyduje się na maszynę cyfrową, to nie należy tego kwestionować. Wielu artystów w historii korzystało z najnowszych osiągnięć techniki swych czasów i widziało w nich szansę wzbogacenia warsztatu twórczego, uważając je z czasem za coś więcej niż narzędzie.

Ważniejsza od problemu tworzenia muzyki komputerowej jest sprawa jej odbioru przez słuchaczy. Uprzedzony o autorstwie komputera słuchacz bardzo często wyraża swoją niechęć, przy czym nie wynika to wcale z faktu trudnej percepcji, a raczej z tradycyjnych nawyków estetycznych i nieuzasadnionych uprzedzeń. Ciekawy eksperyment opisał radziecki autor Rudolf Zari-powicz w pracy „Cybernetyka i muzyka”. Przebadał on stu pięćdziesięciu studentów politechniki i siedemdziesięciu konserwatorium, przedstawiając im dwadzieścia melodii, w tym cztery popularne przeboje, osiem utworów napisanych

przez uznanych kompozytorów i osiem stworzonych przez komputer URAL 2. Studenci, wiedząc, że wśród tych kompozycji są także komputerowe, mieli je ocenić. W punktacji studentów politechniki po pominięciu utworów popularnych dwa pierwsze miejsca zajęły melodie komputerowe, następne dwa skomponowane przez muzyków, a dalsze dwa miejsca znowu komputerowe. W punktacji studentów konserwatorium dwa pierwsze miejsca zajęły melodie skomponowane przez ludzi, ale za to kolejne cztery przez maszynę. Różnice w punktacji świadczą o wpływie wykształcenia słuchaczy na percepcję nowoczesnej muzyki.

Z praktycznych zastosowań muzyki komputerowej można wymienić ilustrację filmu „Solaris”, przygotowaną przez E. Artenjewa za pomocą maszyny ANS. Ostatnio w Stanach Zjednoczonych zastosowano eksperymentalnie komputery w szkołach muzycznych, wykorzystując je do ustalania ćwiczebnych utworów muzycznych, które pozwoliłyby uczniom nauczyć się najwięcej w najkrótszym czasie, oraz szkolenia przyszłych kompozytorów, którzy w trakcie komponowania mogą

uzyskać z maszyny korekty powstających melodii.

Uwieńczeniem osiągnięć entuzjastów sztuki komputerowej było założenie w 1968 r. przy International Federation of Information Processing Towarzystwa Sztuki Komputerowej oraz zorganizowanie przez londyński Instytut Sztuki Współczesnej wystawy „Cybernetic Serendipity”, która była jednym z największych wydarzeń kulturalnych tegoż roku.

Zapewne niemożliwe jest w obecnych warunkach rozstrzygnięcie czy kompozycja komputerowa jest sztuką, czy nie. Prawdopodobnie najlepiej oceni ją czas, a krytycy wyrażając pochopne opinie bardzo często się mylą, tak jak August von Kotzebue, autor wypowiedzi: „Nigdy jeszcze nie napisano czegoś tak niespoistego, przenikliwego i tak dotkliwie szokującego dla ucha”, przy czym nie jest to ocena utworu komputerowego a recenzja z pierwszego koncertu kompozytorskiego Ludwika van Beethovena z 1800 r.

Ryszard Tadeusiewicz,
Aleksander Sodo

Dwutlenek węgla w płucach — nowe hipotezy

Irena Szarska

magister nauk przyrodniczych,
Instytut Nauk Biomedycznych
i Rehabilitacji Ruchowej AWF,
Warszawa

Paweł Grieb

doktor nauk przyrodniczych,
Centrum Medycyny
Doświadczalnej
i Klinicznej PAN,
Warszawa

Do niedawna wydawało się oczywiste, że zachodząca w płucach wymiana dwutlenku węgla między krwią i powietrzem jest prostym procesem dyfuzji cząsteczek tego gazu. Jednak same prawa dyfuzji nie są w stanie wyjaśnić wielu obserwowanych tutaj zjawisk. Na tym przykładzie wyraźnie widać, że w fizjologii dalecy jesteśmy od ostatecznych rozwiązań najprostszych nawet problemów.

Wymiana dwutlenku w płucach nie zawsze zresztą uznawana była za proste zjawisko dyfuzji. Już w 1891 roku znakomity fizjolog duński Christian Bohr przedstawił pewne dowody przemawiające za „aktywnym” wydzielaniem dwutlenku węgla z krwi do atmosfery. Twierdził on, że podczas oddechania mieszanymi gazowymi, które oprócz powietrza zawierały kilka procent dwutlenku węgla, ciśnienie cząstkowe CO₂ w powietrzu znajdującym się wewnątrz pęcherzyków płucnych jest wyższe niż w krwi tętniczej. Znaczyłoby to, że przynajmniej część dwutlenku węgla przenoszona jest z krwi do powietrza pęcherzykowego „pod prąd”, wbrew gradientowi ciśnień cząstkowych tego gazu.

Hipoteza Bohra wywołała zawzięte dyskusje. Nie trwały one jednak długo. Przewagę, jak się wydawało, ostateczną, uzyskała koncepcja dyfuzji fizycznej dwutlenku węgla, a wyniki uzyskane przez Bohra poszły w zapomnienie. Teoria wyjaśniająca wymianę CO₂ w płucach na podstawie zjawiska dyfuzji została powszechnie przyjęta i trafiła do podręczników jako jedno z niewielu zja-

wisk fizjologicznych, którego mechanizm jest całkowicie wyjaśniony.

Zanim przejdziemy do omówienia ostatnio uzyskanych wyników, które to powszechnie przyjęte rozwiązanie postawiły pod znakiem zapytania, przedstawimy klasyczną teorię wymiany dwutlenku węgla w płucach.

Równowaga gazowa organizmu

W niezbędnych dla utrzymania funkcji życiowych procesach komórkowego metabolizmu energetycznego zużywamy tlen, który służy jako końcowy akceptor elektronów i protonów, pochodzących z procesów biologicznego utleniania substratów energetycznych (węglowodanów, tłuszczów, a niekiedy również aminokwasów). Dwutlenek węgla powstaje równoległe jako produkt tych samych procesów metabolicznych, zachodzących we wszystkich komórkach żywego organizmu. Dla utrzymania ciągłego przebiegu tych przemian komórkowych konieczne jest stałe dostarczanie tlenu i usuwanie dwutlenku węgla tak, aby: