

Kazimierz Trzęsicki

Leibnizjańskie inspiracje informatyki

Filozofia Nauki 14/3, 21-48

2006

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Kazimierz Trzęsicki

Leibnizjańskie inspiracje informatyki*

Nothing is more important than to see the sources of invention which are, in my opinion more interesting than the inventions themselves.

G. W. Leibniz¹

G. W. Leibniz jest myślicielem, który antycypował współczesną informatykę. Żył on przekonanie, że logika daje się sprowadzić do rachunku, a poznanie świata wymaga tylko metody zapisu „myśli Bożych” i dochodzenia do prawdy metodą rachunkową. Takim językiem — co ma znaczenie dla powstania informatyki — miałyby być język binarny. Dla rozwoju informatyki ma zaś znacznie przekonanie, że wszystko, co można poznać daje się policzyć.² Rozróżniamy kodowanie binarne, arytmetyczny system binarny i logiczny system binarny. U Leibniza znajdujemy zarówno myśli odnoszące do kodowania binarnego, jak i opracowanie arytmetycznego systemu binarnego. Są również podstawy dla logicznego systemu binarnego. Leibniz skonstruował też maszynę liczącą. Ważniejsze niż to, że była to konstrukcja udana technicznie, jest jednak to, że dawał tym samym praktyczny wyraz wiary w realizację swojego programu³, który dzisiaj wyrażamy najprościej słowem *Calculamus*.⁴

* Pragnę podziękować recenzentowi, którego uwagi przyczyniły się do ulepszenia artykułu. Dziękuję również profesorowi Witoldowi Marciszewskiemu za konsultacje niektórych zagadnień. Praca została wykonana w ramach grantu KBN 3 T11F 01130.

¹ Cyt. za [Koenderik 1990].

² Co nie znaczy jednak, że współczesna informatyka nie napotyka choćby tylko praktycznych granic liczenia. Świadomości ograniczeń nie towarzyszy jednak zaniechanie.

³ Leibniz stosunek do wiedzy wyrażał formułą *theoria cum praxis* (zob. [Leibniz 1838/1840, t. II, s. 268]). Twierdził, że „jeśli rozważamy dyscypliny w i dla siebie, to wszystkie są teoretyczne; jeśli rozważamy je z punktu widzenia zastosowania, wszystkie są praktyczne” [Leibniz 1666, s. 229].

1. WPROWADZENIE

Paradygmat uczestnictwa w świecie współczesnym jest wyznaczony przez informatykę i jej zastosowania. Stawiamy pytanie, czy i kiedy w historii zrodziły się idee tego, co kształtuje naszą codzienność.

Leibniz był przekonany, że świat urządony jest zgodnie z zasadami matematyki. Myśl tę skrótowo wyraża zdanie:

Gdy Bóg przemyśliwa rzeczy i rachuje, staje się świat.⁵

Matematyka jest narzędziem Konstruktora świata, a tworzywem, z którego świat jest stworzony, są liczby.

Poznanie urządzonego matematycznie świata może dokonać się na drodze matematycznej. Leibniz, podobnie jak wcześniej Thomas Hobbes, który głosił, że *cogitatio est computatio*, żywił przekonanie, że każde ludzkie rozumowanie może być przekształcone tak, że stanie się przedmiotem rachunkowego obliczenia i w taki sposób każda kontrowersyjna prawda stanie się tak oczywista jak $2 + 2 = 4$ [Leibniz 1890, t. 7, s. 200]:

Gdyby spór powstał, dysputa między dwoma filozofami nie wymagałaby większego wysiłku niż między dwoma rachmistrzami. Wystarczyłoby bowiem, aby wzięli ołówki w swoje ręce, usiedli przy swoich tabliczkach i jeden drugiemu (z przyjacielem jako świadkiem, gdyby zechcieli) powiedzieli: p o l i c z m y.⁶

Rachowanie jest czynnością, w której maszyna może zastąpić człowieka:

For it is unworthy of excellent men to lose hours like slaves in the labor of calculation which could safely be relegated to anyone else if the machine were used.⁷

Ten pragmatyczny argument z powyższymi argumentami natury metafizycznej może inspirować informatykę i rozwój jej narzędzi w kierunku sztucznej inteligencji. Wszelka prawda ma bowiem odpowiednik liczbowy, a działania na liczbach mogą być wykonywane przez maszynę.

⁴ CALCULEMUS jest dzisiaj nazwą międzynarodowej grupy badawczej. Celem tej grupy jest rozwój nowej generacji systemów matematycznego wspomaganie opartych na integracji mocy dedukcyjnej systemów dedukcyjnych i mocy obliczeniowej algebraicznego systemu komputera. Zob. <http://www.calculemus.net/>

⁵ *Cum Deus calculat et cogitationem exercet, fit mundus*. Zdanie to zamieszczone jest na marginesie tekstu *Dialogus*, opublikowanego w VII tomie pism G. W. Leibniza pt. *Die Philosophischen Schriften von G. W. Leibniz*, VII Vol., wydanych przez C. I. Gerhardta, Halle 1846-1863 (reprint Hildesheim 1960), na stronach 190-193.

⁶ *Quo facto quando orientur controversiae, non magis disputatione opus erit inter duos philosophos, quam inter duos Computistas. Sufficiet enim calamos in manus sumere sedereque ad abacos, et sibi mutuo (accito si placet amico) dicere: c a l c u l e m u s*. Podobne stwierdzenia znajdują się w innych tekstach cytowanego tomu, np. s. 64-65, 125.

⁷ Cf. [Davis 2001, rozdz. I: Leibniz's Dream], zob. [Leibniz 1685].

Pytanie o leibnizjańskie inspiracje informatyki rozumiemy jako pytanie o te kwestie, które ujawniły się zarówno w powstaniu, jak i w rozwoju informatyki, a które mają swoje bezpośrednie lub pośrednie odpowiedniki w myśli Leibniza. Nie będziemy tu dochodzić tego, czy twórcy informatyki wprost, pośrednio czy też niezależnie podejmowali pomysły i idee Leibniza.⁸ Nie będziemy ograniczali się do tego, co było oryginalnym wkładem Leibniza. Pod uwagę weźmiemy również te idee, których Leibniz był wybitnym kontynuatorem.

Logika jest jedną z podstawowych nauk dla informatyki. Logika, ta współczesna, jest z ducha koncepcji Leibniza. Wątek dotyczący znaczenia myśli leibnizjańskiej dla rozwoju logiki i dalej — poprzez nią — informatyki zostanie tu pominięty.⁹

⁸ Leibniz należy do tych myślicieli, którym zdarza się przypisywać więcej. Przykładem może być sprawa wkładu Leibniza do rozwoju współczesnej logiki. Zdaniem Peckhauza (2005, s. 12): Rozwój współczesnej logiki w Wielkiej Brytanii i Niemczech w drugiej połowie XIX wieku może więc być objaśniany tylko jako wpięty nieświadome, a dopiero później świadome nawiązanie do programu Leibniza. Stąd oceny znaczenia logiki Leibniza dla rozwoju współczesnej logiki muszą być dalece zrelatywizowane. Eric J. Aiton pisze np., że Leibniz projekt języka uniwersalnego i z tego wyprowadzone rachunki logiczne „played a significant role in the history of logic” (Aiton 1985, ix). Ta znacząca rola daje się zaledwie odnieść do rozwoju zakresu. Franz Schupp bierze dające się całkowicie usprawiedliwić twierdzenie Couturat, że Leibniz tak wiele ustalił w sprawie wszystkich zasad logiki Boole’a-Schrödera, a w niektórych aspektach nawet poszedł dalej niż Bolle (Couturat 1901, s. 386), jako sposobność dla przypuszczenia, „że logika Leibniza oprócz historycznie interesujących aspektów ‘genialnej antycypacji’ współczesnej logiki mogła być relewantna dla jej dalszego rozwoju (Schupp 1988, s. 42). Schupp stwierdza, że z każdym krokiem dalszego rozwoju współczesnej logiki odkrywane będą nowe aspekty logiki Leibniza. Dla swojego twierdzenia, „że czasem także zajęciem się Leibnizem ponownie wpływa na ten rozwój” (ebd.) nie podaje jednak żadnego uzasadnienia. Jeśli chodzi o etap powstania współczesnej logiki jest to twierdzenie zakwestionowane, dla dalszego rozwoju wymaga potwierdzenia przez dalsze głębsze badania.

Die Entwicklung der modernen Logik in Großbritannien und Deutschland in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kann also nur als zunächst unbewußte, erst nachträglich bewußt gemachte Aufnahme des Leibnizschen Programms gedeutet werden. Bewertungen der Bedeutung von Leibniz’ Logik für die Entwicklung der modernen Logik müssen daher weitgehend relativiert werden. Eric J. Aiton schreibt z. B., daß das Leibnizsche Projekt einer universellen Charakteristik und die sich daraus ergebenden logischen Kalküle „played a significant role in the history of logic” (Aiton 1985, ix). Diese signifikante Rolle kann sich kaum auf die inhaltliche Entwicklung erstreckt haben. Franz Schupp nimmt Couturats durchaus rechtfertigbare Behauptung, daß Leibniz so ziemlich über alle Prinzipien der Boole-Schröderschen Logik verfügt hätte, in einigen Aspekten sogar fortgeschrittener als Boole gewesen sei (Couturat 1901, S. 386), zum Anlaß für die Vermutung, „daß die Leibnizsche Logik über den historisch interessanten Aspekt der ‘genialen Antizipation’ der modernen Logik auch für die Weiterentwicklung dieser Logik selbst relevant sein könnte” (Schupp 1988, S. 42). Schupp stellt fest, daß mit jedem Schritt der Weiterentwicklung der modernen Logik neue Aspekte der Leibnizschen Logik entdeckt wurden, für seine Behauptung, „daß manchmal auch die Beschäftigung mit Leibniz wieder diese Entwicklung beeinflusste” (ebd.), bleibt er den Beleg allerdings schuldig. Für die Entstehungsphase der modernen Logik ist diese Behauptung zu bestreiten, für die weitere Entwicklung bedürfte eine Bestätigung weiterer tiefergehender Untersuchungen.”

⁹ Wśród wielu publikacji podejmujących również ten wątek można wskazać monografię Marti-

Wśród idei Leibniza znajdujemy bowiem takie, których związek z informatyką jest bezpośredni.

Sukces komputera jako uniwersalnej maszyny przechowującej i przetwarzającej informację zależy w istocie od tego, czy istnieje uniwersalny język, w którym można zapisywać różnego rodzaju informacje, i czy dla tego języka istnieje mechaniczny sposób jego przetwarzania.¹⁰ Taki język to język, o którym w istocie marzył Leibniz, a więc język będący zarówno *lingua characteristic*, umożliwiający perfekcyjny opis wiedzy przez ukazanie „rzeczywistego charakteru” pojęć i rzeczy, oraz *calculus ratiocinator*, rachunek dający możliwość mechanizacji rozumowań.

Powszechnie wiadomo, że Leibniz jest pomysłodawcą systemu binarnego i konstruktorem maszyny liczącej. Tu w części pierwszej przyjrzymy się bliżej temu, co inspirowało pomysł systemu binarnego i jakie ma on znaczenie dla rozwoju informatyki. W części drugiej przyjrzymy się bliżej motywacjom konstrukcji przez Leibniza maszyny liczącej i nadziejom, jakie wiązał z możliwościami mechanizacji liczenia i rozumowania, oraz ideom współczesnej informatyki, o których można powiedzieć, że rozwijają myśl Leibniza.

2. LEIBNIZA IDEA SYSTEMU BINARNEGO

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) jest chyba ostatnim z tych, co ogarniali całość wiedzy. Stworzył przynajmniej dwie rzeczy istotne dla współczesnego świata: rachunek różniczkowy i całkowy oraz system binarny. Twórcą rachunku różniczkowego i całkowego jest również Newton.¹¹ Rachunek ten przyjął się jednak i rozwinął w wersji leibnizjańskiej. Stworzony został przez Leibniza około 1673 r. Notacja, którą posługujemy się do dziś, pochodzi z 1679 r.¹² Bez rachunku nieskończenie małych nie do pomyślenia jest współczesna fizyka i inżynieria. I choć rachunek ten jest istotny dla rozwoju informatyki, to jednak w takim samym stopniu, jak dla każdej nauki matematycznej i inżynierii. Dla informatyki znaczenie ma wynalazek systemu binarnego.

2.1. System binarny

Współczesne metody rachowania oparte są o pozycyjny zapis liczb. Nazwy liczb są ciągami cyfr, symboli ze skończonego alfabetu. System pozycyjny — w odróżnieniu od

na Davisa [Davis 2000] *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*.

¹⁰ Idea języka uniwersalnego nie jest nowym pomysłem Leibniza. Również po nim wielu próbowało taki język stworzyć, jak choćby Ludwig Lazarus Zamenhof z Białegostoku, który w 1887 r. wymyślił Esperanto. Dla Leibniza, co było w duchu Lullusa: język ten musi nadawać się do mechanicznego przetwarzania informacji.

¹¹ Kwestia autorstwa była przedmiotem sporu i pretensji Newtona wobec Leibniza.

¹² Nie był to przypadek. Rachunek różniczkowy w wersji Leibniza był jednym z elementów realizowanego przeze niego projektu stworzenia języka uniwersalnego, *lingua characteristic*.

systemu niepozycyjnego, jak np. rzymskiego — każdej cyfrze przypisuje wartość zależną od pozycji zajmowanej przez tę cyfrę w ciągu. Na co dzień posługujemy się systemem dziesiętnym¹³, tzn. systemem pozycyjnym, który ma dziesięć cyfr.¹⁴

Przyjęcie systemu pozycyjnego nie rozstrzyga kwestii liczby cyfr. Jeżeli mamy system pozycyjny z n cyframi, to każdemu m -wyrazowemu ciągowi $c_1c_2\dots c_m$ przyporządkowujemy liczbę:

$$c_m \cdot n^0 + \dots + c_2 \cdot n^{m-2} + c_1 \cdot n^{m-1}.$$

Najmniej cyfr miałby system unarny, jednocyfrowy. Takim system posługujemy się na co dzień, kiedy wskazujemy liczbę np. za pomocą palców. System jedynkowy — mimo swej prostoty i oczywistości — nie daje żadnego „skrótów” przekazywanej informacji. Siłą rzeczy jest niepraktyczny. Zapisanie liczby jeden tysiąc w systemie dziesiętnym wymaga czterech symboli, w systemie unarnym zaś — tysiąca. W systemie binarnym będzie to 1111101000, czyli zapis wymaga 10 znaków. Ogólnie liczba n (> 0), która w systemie unarnym wymaga n znaków, w systemie dwójkowym będzie wymagać do zapisu $m + 1$ znaków, gdzie m jest liczbą taką, że $2^m \leq n < 2^{m+1}$.

W wypadku systemu binarnego mamy dokładnie dwie cyfry. Oczywiście, wybór znaków jest kwestią konwencji. Mogą to być symbole, powiedzmy „0” i „1” — jak to uczynił Leibniz — lub — jak u Pingala¹⁵ — 1 i 2, mogą to być linie ciągła i przerywana — jak w chińskich heksagramach. Muszą to być dwa (różne) obiekty. Mogą więc to być sygnał i brak sygnału. Niech symbol „0” oznacza liczbę 0, a symbol „1” niech oznacza liczbę 1. Ciąg „101011” jest więc zgodnie ze wzorem nazwą liczby:

¹³ Przyjęcie liczby bazowej nie jest tym samym, co system na tej bazie. Babilończycy np. choć za liczbę bazową uznali sześćdziesiąt, to nie mieli systemu pozycyjnego.

¹⁴ System dziesiętny dotarł do Europy z Indii za pośrednictwem Arabów. Zdaniem Ahmeda Djebbara zasługą Arabów było „umiędzynarodowienie” tego sposobu zapisu z cyfrą „0” w zasadniczej roli. Słowo „cyfra” wywodzi się od arabskiej „pustki” — „sif”, co oznaczało zero. Nasze cyfry różnią się dziś kształtem od swoich indyjskich pierwowzorów bardziej niż ich współczesne odpowiedniki arabskie. Na 820 r. datuje się opis w języku arabskim hinduskiego systemu pozycyjnego dokonany przez arabskiego matematyka i astronoma pochodzenia uzbeckiego Mohameda ibn Musa al-Chwarismi (al-Khwarismi, al-Chwarazmi, po łacinie Algorismi; ur. w Charism ok. 780 r., zm. w Bagdadzie po 846 r.). W jego pracy pojawia się pojęcie algorytmu, jako metody uzyskania wyniku obliczenia arytmetycznego. Jednym z pierwszych, który używał i popularyzował system dziesiętny, był Gerbert z Aurillac (ok. 955-1003?). Studia w zakresie *quadrivium* odbył w Barcelonie. Katalonia utrzymywała kontakty z muzułmańską Al-Andalus. Dzięki temu Gerbert miał okazję do zapoznania się z dorobkiem uczonych arabskich z Kordoby. Spośród wielu osiągnięć Gerberta w kontekście naszych rozważań warto wspomnieć o abaku, który jest praprzodkiem komputera. Gerbert wykorzystał posadzkę katedry w Reims. Sześćdziesięciu czterech uczniów szkoły katedralnej przedstawiało kręgi. W ten sposób dawał sobie radę z wielkimi liczbami, z jakimi nigdy przedtem sobie nie radzono. Napisał książkę o liczeniu, w konsekwencji doprowadzając do wzrostu zainteresowania i zrewolucjonizowania studiów matematycznych na Zachodzie. Gerbert z protekcji cesarza został papieżem jako Sylwester II. Razem z cesarzem jako obcy zostali wygnani z Rzymu.

¹⁵ Matematyk hinduski, o którym sądzi się, że żył w 5 lub w 2 wieku p.n.e.

$$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5,$$

czyli liczby 43.

W języku maszynowym używa się systemu binarnego. W programowaniu stosowany jest system ósemkowy lub szesnastkowy. W wypadku systemu ósemkowego, tak jak to jest w wypadku systemu dwójkowego, korzysta się z symboli używanych w systemie dziesiętnym. W wypadku systemu szesnastkowego oprócz 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 jako kolejne cyfry bierze się A, B, C, D, E, F. Liczba 50 w systemie dwójkowym jest zapisana: 110010, a w systemie ósemkowym: 62, w systemie zaś szesnastkowym będzie to: 32.

2.2. Początki systemu binarnego

Leibniz był pierwszym matematykiem, który starannie zbadał własności systemu binarnego. W wielu tekstach i listach pisanych w latach 1679-1697, a więc przez osiemnaście lat, rozwijał notację i rozwiązywał kwestie wykonywania operacji arytmetycznych.

Leibniz nie był jednak pierwszym myślicielem-matematykiem zafascynowanym systemem dwójkowym. Dla Philolousa (ok. 480-405 p.n.e.), pitagorejczyka, system binarny był podstawą jego filozofii zbudowanej na opozycji: skończone — nieskończone. System binarny został również opisany w *Chhandah-shastra* przez Pingala (V lub II w. p.n.e.). Jego opis systemu binarnego jest pierwszym znanym opisem. Dokonał tego w związku z badaniami nad metryką wedyjską krótkich i długich sylab.¹⁶ System binarny mieli znać Chińczycy i starożytni Egipcjanie — na co miałyby wskazywać papyrusy Ahmesa, datowane na lata 1560-1542 p.n.e. Znali oni sposób mnożenia zwany metodą rosyjskich chłopów.¹⁷ Najstarszym dokumentem systemu binarnego w Europie jest kartka z ok. 1600 r. z zestawieniem wartości binarnych pierwszych 31 liczb sporządzonym przez angielskiego matematyka Thomasa Hariota (1560-1621). Systemem dwójkowym zajmował się biskup Juan Caramuel y Lobkowitz (Ioannis Caramvelis), któremu poświęcił dwie strony swego wydanego w 1673 r. dzieła *Mathesis Biceps*.¹⁸ Leibniz sam jako poprzednika wskazuje Abdallah'a Beidhawy'a, arabskiego uczonego, żyjącego w XIII wieku.

Idea systemu dwójkowego rodzi się od 1666 r. w związku z *Dissertatio de arte combinatoria* [Leibniz 1966]¹⁹, gdy Leibniz powziął pomysł rachunku logicznego.²⁰

¹⁶ Warto tu wspomnieć, że starszym bratem Pingala był gramatyk Panini (ok. IV w. p.n.e.), którego gramatyka sanskrytu jest pierwszym znanym przykładem gramatyki opisowej.

¹⁷ Zob. np. <http://mathforum.org/dr.math/faq/faq.peasant.html>

¹⁸ Więcej na ten temat zob. [Parea ... 1977].

¹⁹ Publikacja ta rozwija pomysły Leibniza z jego rozprawy habilitacyjnej, w której rozważał zagadnienia języka pojęciowego i różnych sposobów kombinacji pojęć.

²⁰ Jako nastolatek został wprowadzony w system logiki arystotelesowskiej. To ona rozbudziła jego geniusz matematyczny i zafascynowała matematyką. Arystotelesowski podział pojęć na kate-

System dwójkowy został wynaleziony przez Leibniza około 1679 r., kiedy to napisał *De progressionē dyadica* [Leibniz 1679]. W pracy tej Leibniz analizuje możliwości tego systemu oraz pokazuje, jak wykonywać podstawowe operacje arytmetyczne: dodawanie i odejmowanie, mnożenie i dzielenie. W artykule tym Leibniz pisze o maszynie działającej w oparciu o system binarny.

Pomysł systemu binarnego nie wzbudził zainteresowania i był ignorowany przez ówczesny świat nauki. Leibniz wrócił do niego w związku z *I Ching* (lub *Yijing*), chińską *Księgą przemian*

Leibniz dość wcześnie zainteresował się Chinami. Po raz pierwszy bezpośrednio o Chinach dowiedział się od spotkanego w Rzymie jezuita ojca Filippo Grimaldi. Zainteresowany był matematyką chińską. W listach do ojca Grimaldi (również do ojca Kochańskiego) dopytywał się m.in., czy w starych pismach chińskich są jakieś ślady dowodów geometrycznych; czy znali twierdzenie Pitagorasa. Korespondował z Joachimem Bouvetem (1656-1730) misjonarzem katolickim, jezuitą. Było to związane z szerszym zamiarem. Jezuiti mieli nadzieję na nawrócenie Chińczyków na chrześcijaństwo poprzez wskazywanie tego, co wspólne chrześcijaństwu i chińskiej starożytnej teologii. W ten jezuitcki zamysł wpisywał się Leibniz, który chciał wykazać zgodność wszelkiej wiedzy i wynalazków. Szukał Leibniz również informacji o pozaeuropejskich językach, mając na uwadze stworzenie języka uniwersalnego.²¹ Bouvet podjął studia nad *I Ching*, postrzegając ten tekst jako brakujące ogniwo pomiędzy oboma religiami [Swetz 2003]. Leibniz przesłał Bouvetowi szkic swojego systemu binarnego. Od niego właśnie Leibniz otrzymał heksagramy przypisywane Fu Xi, mitycznemu pierwszemu cesarzowi Chin i legendarnemu wynalazcy pisma chińskiego. Wkrótce po otrzymaniu od Bouveta listu zawierającego heksagramy oraz dokonaną przez Bouveta ich identyfikacją z systemem binarnym, Leibniz przedstawił do publikacji *Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce quelle donne le sens des anciennes figures Chinoises de Fohy* (Wyjaśnienie arytmetyki binarnej, korzystającej wyłącznie z cyfr „0” i „1”, z uwagami o jej użyteczności i znaczeniu, jakie daje dawnym chińskim rysunkom Fu Xi) [Leibniz 1703], [Leibniz 1962] zob. [Ching ... 1992, s. 44]. W odniesieniu do Chińczyków pisał [Leibniz 1703]:

gorie naprowadził go na myśl języka, który będzie przemawiał nie słowami, lecz pojęciami. Język z takim alfabetem powinien umożliwiać rachunkowe obliczanie, które zdania są prawdziwe, a które nie. Leibniz pozostawał pod urokiem Arystotelesa, a idea rachunku pasjonowała Leibniza do końca życia.

²¹ Moglibyśmy powiedzieć, że Leibniz był prekursorem globalizmu w warstwie życia naukowego i kulturalnego, ale również gospodarczego, o czym może świadczyć zamysł przekazania cesarzowi chińskiemu za pośrednictwem cara Piotra Wielkiego skonstruowanej przez siebie maszyny liczącej. Dar ten miał uświadomić poziom techniczny Europy jako potencjalnego partnera handlowego Chin. Dążył również do pojednania religijnego.

Tym, co jest zadziwiające w tym [binarnym] liczeniu jest to, że arytmetyka 0 i 1 obejmuje sekret linii starożytnego chińskiego króla zwanego Fohy (Fu Xi), o którym sądzi się, że żył 4000 lat temu i którego Chińczycy uważają za założyciela ich imperium i ich nauki...

W liście do Bouveta z 15 lutego 1701 r. [Leibniz 2005, s. 409] Leibniz tak komentował swoje odkrycie:

A jeśli na początku pominię się źródło wynalazku tego rachunku (który bierze się z analogii postępu dwójkowego z dziesiętnym) [...] wówczas rzecz ta wyda się jeszcze wspanialsza.²²

Zauważmy wszak, że przypisywanie Chińczykom szczególnej roli w wynalezieniu systemu dwójkowego bierze się bardziej z intencji, którymi kierował się Leibniz, niż z rozważenia sytuacji. Faktycznie heksagramy pochodzą od filozofa Shao Yonga (1011-1077) z jego dzieła *Huangji jingshi shu* (*Księga o wzniosłej zasadzie, która rządzi wszystkimi rzeczami tego świata*). Buddyjska doktryna *Yin* oraz *Yang* opiera się na „binarnej” zasadzie, na której skonstruowany miałby być świat. Shao i Leibniz mieli tę samą wizję świata jako stworzonego zgodnie z systemem binarnym, co ma odzwierciedlenie we wszystkich rzeczach i jest odnajdywalne w istocie ludzkiej. Diagramy były używane przez Shao w sposób przypominający podstawowe zagadnienia Leibniza filozofii nauki. Shao jednak nie posunął się dalej w kierunku rozumienia swoich diagramów jako systemu liczbowego. Powodem było jego przekonanie, że ścisłe myślenie naukowe było zgubne dualistycznie i szkodliwe duchowo (por. [Ryan 1996]). Zdaniem Needhama [Needham 1956] znaki w diagramach Shao nie były używane na oznaczenie liczb. Związek między heksagramami a liczbami binarnymi jego zdaniem opiera się na podobieństwie symboli, które umieszczone na okręgu miały przyporządkowywać sobie „1” z „0” lub raczej „+1” z „-1”, jak męskie uzupełnia żeńskie. Widzimy więc, że można zgodzić się na binarny charakter przedstawienia heksagramów. Nie jest to jednak to samo, co system binarny.

Zauważmy jeszcze, że liczenie na pary jest powszechne i znane nawet ludom pierwotnym, jak choćby Aborygenom. Znając system dziesiętny miał Leibniz pojęcie systemu liczbowego. Istota odkrycia Leibniza polega więc nie na tym, że można liczyć dwójkami, lecz na odkryciu systemu dwójkowego i opisanie jego własności. Sam pisze o oparciu swojego pomysłu na analogii z systemem dziesiętnym (zob. powyższy cytat z listu do Bouveta).

Choć Leibniz nie był pierwszym, który eksperymentował z liczbami binarnymi, czy w ogóle kwestią systemu pozycyjnego (zob. [Glaser 1971]), to rozważając system dwójkowy dawał świadectwo przeplatania się wielu intelektualnych idei swojej wizji świata, nie tylko języka uniwersalnego, lecz również teologicznych oraz mistycznych idei porządku, harmonii i stworzenia z 0 oznaczającym nicość i 1 oznaczającą Boga (por. [Swetz 2003]). Ponadto jego artykuł z 1703 [Leibniz 1703] zawiera zastosowanie systemu binarnego do dawnych tekstów chińskich przepowiedni *I Ching*.

²² Et si vous supprimés au commencement l'origine de l'invention de ce calcul (qui vient de l'analogie de la progression binaire avec la denaire) [...] la chose paroitra d'autant plus admirable.

2.3. Leibniza uzasadnienie systemu binarnego

Leibniz tak tłumaczy przewagę systemu dwójkowego (Leibniz 1962, s. 223-227), [Leibniz 1703, s. 85-89]):

Zamiast ciągu geometrycznego na bazie dziesięciu, przez wiele lat stosowałem najprostszy ze wszystkich ciągów, a mianowicie na bazie dwóch, uznając, że przyczynia się to do doskonałości nauki o liczbach. Nie używam więc cyfr innych niż 0 i 1, a zatem dochodząc do dwóch zaczynam od początku. Dlatego dwa jest zapisywane tu jako 10, a dwa razy dwa, czyli cztery jako 100, a dwa razy cztery, czyli osiem jako 1000, a dwa razy osiem, czyli szesnaście jako 10000, i tak dalej.

Leibniz wskazuje na praktyczne wykorzystanie systemu binarnego w ważeniu i jego zastosowanie w systemie monetarnym. Stawia pytanie o najmniejszą liczbę odważników potrzebnych do zważenia dowolnego ciężaru i najmniejszą liczbę monet, za pomocą których można by było rozliczyć dowolną kwotę. W oparciu o to, że w zapisie binarnym każda liczba jest sumą wzajemnie różnych liczb, z których każda jest potęgą dwójki, dowodzi, że właśnie potęgi liczby dwa wyznaczają potrzebne odważniki i — odpowiednio — nominały. Na przykład dla zważenia wszystkich ciężarów o wadze do 15 jednostek wystarczą tylko cztery odważniki, a mianowicie: 1, 2, 4, 8.

Kolejną zaletą systemu dwójkowego w opinii Leibniza jest łatwość wykonywania operacji arytmetycznych. Operacje są wtedy tak proste, że nigdy nie musimy zgadywać albo postępować metodą prób i błędów, co ma miejsce w wypadku zwykłego dzielenia. Nie zaleca jednak rezygnacji ze zwyczajnej praktyki stosowania systemu dziesiętnego nie tylko dlatego, że nie jest łatwo zrezygnować z czegoś, do czego jesteśmy przyzwyczajeni, ale dlatego, że w zapisie dziesiętnym liczby nie są tak długie. Dodaje, że gdybyśmy byli przyzwyczajeni do systemu dwunastkowego lub szesnastkowego²³, to zapisy liczb byłyby jeszcze krótsze. Dzisiaj w informatyce podstawowy jest system binarny, ale właśnie ze względu na krótkość w opisach stosowany jest też zapis ósemkowy lub szesnastkowy.

System binarny znajduje zastosowanie w komputerach dlatego, że urządzenie jest prostsze, wymaga bowiem odróżnienia tylko dwóch stanów zamiast np. dziesięciu, co byłoby wymagane dla systemu dziesiętnego. W systemie dwójkowym urządzenie (*hardware*) do wykonania dodawania musi uwzględniać cztery wypadki: $0 + 0$, $0 + 1$, $1 + 0$, $1 + 1$. W wypadku systemu dziesiętnego, jak można policzyć, urządzenie musiałoby radzić sobie ze 100 wypadkami, co oczywiście komplikowałoby je technicznie. Podobnie jest z mnożeniem. Choć „przekład” na system dziesiętny, którym posługuje się użytkownik, zajmuje czas i pamięć komputera, to jednak mimo to bilans przemawia za systemem binarnym.

²³ Dwanaście jako baza systemu liczenia jest przyjęte, gdy liczymy na tuziny. Można liczyć na mendle. Liczymy wtedy po piętnaście. Nie znam zaś liczenia na bazie szesnastu.

Dodajmy, że w 1840 Thomas Fowler (1777-1843) zademonstrował (drewnianą) maszynę liczącą w oparciu o system trójkowy.²⁴

Prace nad budową komputera ternarnego podjęto w Związku Radzieckim. W [Brousetnssov ... 2005] czytamy:

It is known that the ternary arithmetic has essential advantages as compared with the binary one that is used in present-day computers. In connection with this Donald Knuth assumed that the replacement of „flip-flop” for „flip-flap-flop” one a „good” day will nevertheless happen [Knu81]. Now, when the binary computers predominate, it is hard to believe in a reality of such assumption, but if it would happen not only the computer arithmetic, but the informatics on the whole would become most simple and most perfect. The third value (Aristotle named it $\sigma\mu\beta\epsilon\theta\eta\kappa\omicron\varsigma$ — attendant) what is very actual but hidden in binary logic, will become obvious and direct manipulated. Ternary logic has better accordance with the Nature and human informal thinking [Bro94]. Unfortunately, the modern researches of the multi-valued (non-binary) logic are formal and are not associated with practical requests.

A remarkable exclusion is the experience of creating the ternary computers „Setun” and „Setun 70” at Moscow State University. This experience convincingly confirms practical preferences of ternary digital technique.

[...]

Simplicity, economy and elegance of computer architecture are the direct and practically very important consequence of the ternarity, more exactly — of representation of data and instructions by symmetrical (balanced) code, i.e. by code with digits 0, +1, -1. In opposite to binary code there is no difference between „signed” and „unsigned” number. As a result the amount of conditional instructions is decrease twice and it is possible to use them more easily; the arithmetic operations allow free variation of the length of operands and may be executed with different lengths; the ideal rounding is achieved simply by truncation, i.e. the truncation coincides with the rounding and there is the best approximation the rounding number by rounded.

The experience of creating, programming and application of „Setun” unambiguously confirmed the significant preferences of ternarity.

W opinii Leibniza system binarny, innymi słowy system liczenia za pomocą 0 i 1, mimo swej długości, jest dla nauki bardziej podstawowy niż inne systemy; umożliwia on nowe odkrycia, które są użyteczne nawet w praktyce arytmetycznej, a szczególnie w geometrii, ponieważ, gdy liczby są zredukowane do najprostszyc zasad wszędzie — jak pisze — ukazuje się wspaniały porządek. Jako przykład podaje tabelę liczb, w której kolumnach kolejno mamy: 01, 0011, 00001111, 0000000011111111 itd. Kwadraty liczb, sześciiany i inne potęgi oraz liczby trójkątne²⁵, piramidalne²⁶ i inne liczby figuratywne²⁷ również mają podobne okresy, tak że

²⁴ Została opisana przez De Morgana [De Morgan 1840, De Morgan 1843]. Bibliografię na ten temat można znaleźć: <http://www.mortati.com/glusker/fowler/refslinks.htm> (zob. również [Czerniak 2002]).

²⁵ Liczba trójkątna — mówiąc obrazowo — to każda maksymalna liczba kół o tej samej średnicy, które nie zachodząc jedno na drugie mogą „zmieścić” się w trójkącie równobocznym. Dla danej trójkątnej liczby ta będzie rosła wraz ze zmniejszaniem średnicy kół.

można bez liczenia bezpośrednio rysować ich tabele. Pewna monotonia na początku, która później pozwala oszczędzać na liczeniu, a korzystając z reguł iść nieskończenie daleko, jest w najwyższym stopniu zaletą.²⁸

Oprócz powyższych argumentów natury formalnej wskazuje Leibniz argumenty natury filozoficznej, a nawet mitologicznej.

Takim argumentem o charakterze mitologicznym jest odwołanie się do tradycji chińskiej. Leibniz dostrzega tajemność w diagramach, które, jak pisze, pochodzą od króla i filozofa Fu Xi, o którym Chińczycy twierdzą, że żył ponad cztery tysiące lat temu i który uważany jest za założyciela cesarstwa i tego, kto dał podstawy jego wiedzy. Rysunki przypisywane Fu Xi zdaniem Leibniza wiążą się z arytmetyką. W trigramach *Cova* linia ciągła: — ma odpowiadać 1, a linia przerywana: – – ma odpowiadać 0. Są to chińskie zasady: *Yin* i *Yang*. Linie, przerywana (*Yin*) i nieprzerywana (*Yang*), reprezentują opozycję pierwiastka żeńskiego i męskiego, negatywnego i pozytywnego, Ziemi i Nieba.

Ciekawy jest argument natury — moglibyśmy powiedzieć — dyplomatycznej. Chińczycy zatracili rozumienie diagramów, a oto z konieczności znajdują prawdziwe wyjaśnienie dzięki Europejczykom. Pisze Leibniz, że zaledwie dwa lata wcześniej wysłał do wielbego ojca Bouveta, sławnego jezuitę francuskiego mieszkającego w Pekinie, opis swojego sposobu liczenia za pomocą 0 i 1, a to Bouvetowi wystarczyło, aby rozpoznać klucz do rysunków Fu Xi. W odpowiedzi z listopada 1701 r. otrzymał Leibniz wielki rysunek tego królewskiego filozofa — jak określa Fu Xi — obejmujący liczby aż do 64.²⁹ Zatem nie ma już miejsca na żadne wątpliwości, że Bouvet rozszyfrował zagadkę Fu Xi. Ponieważ — jak uważa Leibniz — rysunki te są najstarszym zabytkiem nauki na świecie, zatem odszukanie jego znaczenia po tak długim czasie zdaje się bardziej fascynujące. Leibniz sądził, że chińskie heksagramy mogłyby być zaczątkiem języka uniwersalnego.

Leibniz miał również motywację metafizyczną. W styczniu 1697 wraz z życzeniami urodzinowymi do swego protektora księcia Rudolfa Augusta z Brunszwika (Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel Rudolph August) — przesłał list, w którym omawia system binarny i ideę stworzenia — z 0 jako nicością i 1 oznaczającą Boga [Swetz 2003]. Dla Leibniza:

Jednym z tych głównych punktów wiary chrześcijańskiej, a nawet wśród tych, które do mądrości świata najmniej przystają, i jeszcze poganom nie całkiem były dane, jest stworzenie rzeczy

²⁶ Liczba piramidalna — mówiąc obrazowo — to każda maksymalna liczba kul o tej samej średnicy, które nie zachodzą jedna na drugą „mieszczą” się w regularnej piramidzie. Dla danej piramidy liczba ta będzie rosła wraz ze zmniejszaniem średnicy kul.

²⁷ Liczby te można określić analogicznie do liczb trójkątnych lub piramidalnych.

²⁸ Podobne argumenty natury praktycznej i matematycznej można wskazać dla systemu trójkowego. Zob. np. [Hayes 2001].

²⁹ Leibniz prowadził bardzo obszerną — jak na owe czasy — korespondencję. Liczba jego respondentów przekraczała 600 osób. Była wśród nich większość uczonych (europejskich). Dyskutowane były najprzeróżniejsze kwestie.

z niczego przez wszechmoc Bożą. Można całkiem dobrze powiedzieć, że nic w tym świecie lepiej zarówno nie przedstawia się jak i pokazuje, jak pochodzenie liczb, jak to tutaj jest przedstawione jak powstają wszystkie liczby przez ich wyrażenie wyłącznie i tylko przez jedynkę i zero lub nic. I trudno będzie w naturze i filozofii znaleźć lepszy wzorzec tych tajemnic, stąd więc przedstawiam projektowany medal:

IMAGO CREATIONIS.

Jest przy tym wszak nie mniej warte zauważenia, jak się z tego okazuje, nie tylko, że Bóg wszystko z nicości uczynił, lecz także, że Bóg wszystko dobrze uczynił, i że wszystko, co stworzył, dobre się okazało; jak my tutaj to w tym wzorcu stworzenia także naocznie widzimy.³⁰

Dla Leibniza nicłość i ciemność odpowiadają zeru, promieniujący zaś duch Boga odpowiada jedynce. Uważał bowiem, że wszystkie kombinacje powstają z jedności i nicości, co jest podobne temu, gdy mówi się, że Bóg uczynił wszystko z niczego i że były tylko dwie zasady — Bóg i nicłość. W liście do księcia Rudolfa Augusta pisał [Leibniz 1697]:

...więc następnie zaprojektowałem światło i ciemność, lub, według ludzkiego wizerunku, Ducha Boga nad wodami: ciemność była na głębokościach, a Duch Boga unosił się nad wodami. Wtedy rzekł Bóg: Niech stanie się światło i stało się światło. I dochodzi ono tym bardziej do obwodu, ponieważ pusta głębia i otchłanna ciemność należą do zera i nicości; zaś Duch Boga ze swoją światłością należą do wszechmocnej jedynki. W sprawie słowa ujmującego sens obrazu, lub motto dell' impresa, myślałem przez dłuższy czas i wreszcie uznałem za słuszne ten wers umieścić:

2, 3, 4, 5 etc. 0
Omnibus ex nihilo ducendis
SUFFICIT UNUM,

ponieważ on całkiem jasno wskazuje, co znaczy cały sens obrazu i dlaczego to wyraża Imago Creationis. Można także ten wers snadnie podzielić na dwie części, co staje się widoczne zarówno za pośrednictwem różnicy między literami jak również także przez między nimi pozostawione nieduże miejsca, aby rozpoznana była ostatnia część tego, SUFFICIT UNUM od prawej głównej maksymy, co, jak w podobnym jest wymagane, aby miało w sobie dobitność i głę-

³⁰ Denn einer der Hauptpunten des christlichen Glaubens, und zwar unter denjenigen, die den Weltweisen am wenigsten eingegangen, und noch den Heyden nicht wohl beizubringen sind, ist die Erschaffung der Dinge aus Nichts durch die Allmacht Gottes. Nun kann man wohl sagen, daß nichts in der Welt soie besser vorstelle, ja gleichsam demonstrire, als der Ursprung der Zahlen, wie er allhier vorgestellt ist, durch deren Ausdrückung blos und allein mit Eins und mit Nulle oder Nichts alle Zahlen entstehen. Und wird wohl schwerlich in der Natur und Philosophie ein bessres Vorbild dieses Geheimnisses zu finden sein, daher ich auch die entworfene Medaille gesetzt:

IMAGO CREATIONIS.

Es ist aber doch dabei nicht weniger betrachtungswürdig, wie schon darus erscheint, nicht nur, daß Gott Alles aus Nichts gemacht, sondern auch daß Gott Alles wohl gemacht, und daß Alles, was er geschaffen, gut gewesen; wie wirs hier denn in diesem Vorbilde der Schöpfung auch mit Augen sehen [Leibniz 1697].

boki sens. Ponieważ owe *sufficit unum*, czy to już od liczb i od przez nie wskazywane stworzenie właściwie będzie powiedziane, tak więc idzie jeszcze dalej, mianowicie do naszej nauki i trzyma w sobie główną zasadę naszego życia i chrześcijaństwa, że wystarczy nam powiedzieć co dobre, gdy my się tylko właściwie tego trzymamy. Nad wszystkim są cyfry 2, 3, 4, 5 itd. A nad nihilo jest umieszczone 0, przez co każdy znaczenie tych wersów tym lepiej może przezeń na tablicę liczbową.³¹

Do ponownego odkrycia systemu binarnego miały go doprowadzić studia nad tekstami chińskimi *Fu Xi* sprzed trzech tysięcy lat. Na projektowanym medalu, którego motywem przewodnim było „*imago creationis*” i „*ex nihil ducendis Sufficit Unum*” jedynie odpowiada Słońce, które promieniuje na bezkształtną ziemię, zero. Nawiązywał tym do Pitagorasa i Platona.

Zachwalając swoją arytmetykę binarną twierdził (zob. [Widmaier 1990]):

jednak gdy wymyśliłem moją arytmetykę binarną, zanim zaznajomiłem się z symbolami Fohy, uznałem w nich najpiękniejszy obraz stworzenia, czyli pochodzenia rzeczy z niczego dzięki najwyższej mocy Jedności, czyli Boga.³²

Idea tak bardzo fascynowała Leibniza, że przekazywał ją ojcu Grimaldi, matematykowi na dworze cesarza Chin w nadziei, że za jej pomocą doprowadzi on do nawrócenia cesarza, a wraz z nim chrystianizacji całych Chin [Leibniz 1697]:

³¹ ... so habe darauf entworfen Licht und Finsterniß, oder, nach menschlicher Abbildung, den Geist GOTTes über dem Wasser: denn Finsterniß war auf der Tiefe, und der Geist GOTTes schwebete auf dem Wasser. Da sprach GOTT: Es werde Licht, und es ward Licht. Und kommt solches um so mehr zu Passe, weilen die leere Tiefe und wüste Finsterniß zu Null und Nichts; aber der Geist GOTTes mit seinem Lichte zum allmächtigen Eins gehöret.

Wegen der Worte des Sinnbildes, oder Motto dell' impresa, habe ich mich eine Zeitlang bedacht, und endlich gut befunden, diesen Vers zu setzen:

2, 3, 4, 5 etc. 0

Omnibus ex nihilo ducendis

SUFFICIT UNUM,

weil solcher gar klar andeutet, was mit dem ganzen Sinnbilde gemeinet, und warum es sey Imago Creationis. So kann man auch diesen Vers füglich in zwei Theile theilen, so auch vermittelst des Unterschieds unter den Buchstaben sowohl, als auch des dazwischen gelassenen kleinen Platzes, sichtbarlich geschehen, damit der letzte Theil davon, SUFFICIT UNUM vor den rechten Hauptspruch erkannt werde, welcher, wie in dergleichen erfordert wird, einige argutiam und Tiefsinnigkeit in sich hat. Denn dieses *sufficit unum*, ob es schon hier von den Zahlen und der von ihnen angedeuteten Schöpfung eigentlich gesaget wird, so gehet es doch weiter, nemlich zu unsrer Lehre, und hält in sich die Hauptregel unsres Lebens und Christenthums, daß das einige Gut uns genug sey, wenn wir uns nur recht daran halten. Ueber omnibus sind die Ziffern 2, 3, 4, 5 u.s.w. und über nihilo das 0 gesetzt, damit jedermann die Deutung des Verses desto eher auf die Zahl=Tafel ziehen könne.

³² tamen ubi Arithmeticam meam Binariam excogitavi, antequam Fohianorum characterum in mentem venirent, pulcherrimam in ea latere judicavi imaginem creationis, seu originis rerum ex nihilo per potentiam summae Unitatis, seu Dei.

Przeto, ponieważ pisuję do Chin do ojca Grimaldi, zakon jezuicki, przewodniczącego kolegium matematycznego tego samego, z którym poznałem się w Rzymie, i który napisał do mnie w drodze powrotnej do Chin, z Goa; więc uznałem za właściwe powiadomić go o tym przedstawieniu liczb, w nadziei, ponieważ on sam opowiadał, że monarcha tego potężnego cesarstwa jest bardzo wielkim miłośnikiem sztuki rachowania, a także od ojca Verbiest, poprzednika Grimaldi, nauczył się europejskiego sposobu rachowania; że być może to przedstawienie tajemnicy stworzenia mogłoby służyć do tego, aby jemu coraz bardziej wspaniałość wiary chrześcijańskiej naocznie przedkładać.³³

2.4. Kod binarny jako język uniwersalny

Idea systemu binarnego rodzi się u Leibniza — o czym już była mowa — w związku z jego koncepcją języka pojęciowego, *lingua characteristica*.

W 1677 określa zasadnicze idee dociekań nad *characteristica universalis*, co zajmowało go od samej młodości. Należy znaleźć znaki lub symbole dla wyrażenia w sposób jasny i ścisły wszystkich myśli, jak w arytmetyce wyrażone są liczby lub w geometrii linie, aby można było z nimi czynić to samo, co czyni się w arytmetyce i geometrii, gdy ma się je jako przedmiot rozumowania. Z tego powodu wszystkie dociekania, które oparte są na rozumowaniu, dokonywane będą przez przemieszczanie tych znaków, przez pewien rodzaj rachunku.

Leibniz chciał, aby język uniwersalny umożliwiał nadanie prawom logiki charakteru reguł rachunkowych. Język ten — jak sądził — byłby nieskończenie różny od wcześniej projektowanych, a to dlatego, że jego symbole, a nawet wyrazy kierowałyby bezpośrednio rozumem i tym samym błędy, poza dotyczącymi faktów, miałyby miejsce tylko w rachunku. Choć język taki jest trudno wynaleźć, to byłoby bardzo łatwo rozumieć go bez żadnych słowników. W kwietniu 1679 r. w liście do księcia Johanna Friedricha von Braunschweig pisał (zob. [Glashoff 2006]):

Gdyby Bóg Waszą księżącą wysokość natchnął jeszcze myślał mi jedynie przyznać, że te 1200 talarów, które ustanowiła Wasza dobroć, jako trwałą rentę, to byłbym równie szczęśliwy jak Raymund Lull,³⁴ i być może wielce słusznie. [...] Bowiem moje wynalazki obejmują potrzeby całego rozsądku, sędziego dla wszystkich wypadków sporu, kogoś do wyjaśniania pojęć, wagę do prawdopodobieństw, kompas, który kieruje nami przez ocean doświadczeń, inwentarz rze-

³³ Daher, weilen ich anitzo nach China schreibe an den Pater Grimaldi, Jesuiter=Ordens, Präsidenten des mathematischen Tribunals daselbst, mit dem ich zu Rom bekannt worden, und der mir auf seiner Rückreise nach China, von Goa aus, geschrieben; so habe gut gefunden, ihm diese Vorstellung der Zahlen mitzuthellen, in der Hoffnung, weilen er mir selbst erzählet, daß der Monarch dieses mächtigen Reichs ein sehr großer Liebhaber der Rechenkunst sey, und auch die europäische Weise zu rechnen, von dem Pater Verbiest, des Grimaldi Vorfähr, gelemet; es möchte vielleicht dieses Vorbild des Geheimnisses der Schöpfung dienen, ihm des christlichen Glaubens Vortrefflichkeit mehr und mehr vor Augen zu legen.

³⁴ Pomysł Lullusa (*Ars Magna et Ultima*) zainspirowały wielu. Werner Künzel pisze [Künzel 2006]: „Since 1987, I have programmed this first beautiful algorithm of the history of philosophy into the computer languages *COBOL*, *Assembler* and *C*.”

czy, tabela myśli, mikroskop do badania przedłożonych rzeczy, teleskop do poprawiania odległego, ogólny rachunek, nieszkodliwą magię, nie-chimeryczną kabałę, pismo, które każdy czyta w swoim języku; a nawet język, którego można nauczyć się w kilka tygodni i który wkrótce będzie ważny w całym świecie. I który w ogóle, gdzie nadejdzie, przyniesie ze sobą prawdziwą religię.³⁵

Miał to być system znaków nie tylko realny, lecz również obejmujący całość ludzkiej myśli. W liście do matematyka G. F. A. de l'Hospital'a, pisał (por. [Davis 2001, rozdz. 1]), że część sekretu „algebry” zawiera się w charakterystyce, tj. w sztuce właściwego użycia wyrazów symbolicznych. Troska o właściwe użycie symbolu byłaby „nicią Ariadny” (*filium Ariadne*), która prowadziłaby badaczy w tworzeniu tej charakterystyki. Współcześnie kod binarny okazał się uniwersalnym kodem, w którym zapisujemy wszystko to, co daje się zapisać. Już nie tylko liczby, lecz również teksty, a nawet obrazy i muzykę.³⁶ Kod binarny jest językiem uniwersalnym, stosuje się bowiem nie tylko do jakiegoś języka, lecz do każdego języka. Kodem tym zapisany jest niniejszy tekst w wersji elektronicznej. Kodem tym można zapisać teksty nie tylko w języku polskim, lecz w także każdym innym.

Samego wynalezienia kodu binarnego nie można uznać za coś szczególnie fascynującego. Takim kodem posługują się wszak murzyni w buszu stosując do komunikowania tam-tamy. Binarny charakter ma alfabet Morse'a³⁷, w którym korzysta się z kropki/krótki sygnał i kreski/długi sygnał.³⁸ Wcześniej szyfrowanie binarne (biliterowe) opisał Francis Bacon (1561-1626). Za pomocą liter *A* i *B* zakodował pozostałe litery alfabetu [Heaat 1972].

Idea sterowania maszyną za pomocą komend zapisanych binarnie nie jest nowa. W 1725 r., a więc już po śmierci Leibniza, Basile Bouchon, mistrz sztuk pasamonicznych z Lyonu wpadł na pomysł wybierania za pomocą specjalnych igieł i dziurkowanej papierowej taśmy pętlic nicielnicy, które winny być podniesione przy każ-

³⁵ Wenn Gott Eurer Hochfürstl. Durchlaucht noch den Gedanken eingäbe, mir lediglich zu be-willigen, daß die 1200 Taler, die festzusetzen Ihr die Güte hattet, zu einer Dauerrente würden, so wäre ich ebenso glücklich wie Raymund Lull, und vielleicht mit größerem Recht. [...] Denn meine Erfindung umfasst den Gebrauch der gesamten Vernunft, einen Richter für alle Streitfälle, einen Erklärer der Begriffe, eine Waage für die Wahrscheinlichkeiten, einen Kompass, der uns über den Ozean der Erfahrungen leitet, ein Inventar der Dinge, eine Tabelle der Gedanken, ein Mikroskop zum Erforschen der vorliegenden Dinge, ein Teleskop zum Erraten der fernen, einen generellen Calculus, eine unschädliche Magie, eine nicht-chimärische Kabbala, eine Schrift, die jedermann in seiner Sprache liest; und sogar eine Sprache, die man in nur wenigen Wochen erlernen kann und die bald in der ganzen Welt Geltung haben wird. Und die überall, wo sie hinkommt, die wahre Religion mit sich bringt.

³⁶ Pomysł mechanicznego kodowania muzyki jest dawny. Stosowany był choćby w katarzynkach, które Babbage, projektant pierwszego uniwersalnego komputera, maniakalnie zwalczał, chodząc po ulicach Londynu.

³⁷ Samuel F. B. Morse (1791-1872) do 1830 r. zajmował się z powodzeniem malarstwem portretowym. Znany jest jako wynalazca telegrafu i systemu kodowania, noszącego dzisiaj jego imię.

³⁸ Język ten wymaga symbolu oddzielenia kodów znaków.

dym podniesieniu czółenka. Karty mogły być wymieniane. W ten sposób powstał pierwowzór wymiennego programu dla maszyny. Człowiek, czyniąc dziurkę lub nie, zapisywał w pamięci maszyny program, według którego pracowała. Być może, że Bouchon został zainspirowany przez kurant — obracający się bęben z metalowymi dziurkami do sterowania kościelnymi dzwonami. Zamiar Bouchona po raz pierwszy skutecznie zrealizowali M. Falcon — w 1728 r. zastosował drewnianą płytę z systemem wywierconych otworów — i Jaques de Vaucanson (1745-1782). Krosno tego ostatniego było w pełni automatyczne. Tkanie stało się tańsze, szybsze, łatwiejsze i wyroby były praktycznie bez błędów. Czeladnicy tkaccy w obawie o miejsca pracy niszczyli nowe krosna. Mistrzowie, aby zachować monopol wykupywali wszystkie nowe krosna. Arystokracja i duchowieństwo, które w innowacjach dostrzegało zagrożenia ich pozycji zakazywali tych krosien. Nadeszła i minęła rewolucja, a nowe krosno gromadziło tylko kurz w paryskim muzeum sztuki i rzemiosła. Dopiero w 1800 r. Joseph-Marie Jacquard (1752-1834) zainteresował się nim. W 1805 r. skonstruował krosna żakardowe.

Kodowanie binarne z pomysłu Jacquarda wykorzystał Charles Babbage (1791-1871)³⁹ w pomysł *Maszyny analitycznej (Analytical Engine)*⁴⁰. Była to koncepcja maszyny o ogólnym przeznaczeniu. Na wymiennych kartach perforowanych zapisywany był nie wzór tkaniny, lecz program sterujący obliczeniami. Urządzenie Babbage'a miało mieć 50.000 części ruchomych i miało być napędzane maszyną parową wielkości lokomotywy. Sterowanie miało być w pełni automatyczne, nawet wyniki obliczeń miały być drukowane.

Zadania budowy maszyny podjął się w 1821 r., gdy wraz z kolegą przygotowywał tablice matematyczne. Po zauważeniu mnóstwa błędów sfrustrowany miał zakrzyknąć:⁴¹

I wish to God these calculations had been executed by steam!

Okrzyk ten przywodzi na myśl Leibniza — chciałoby się to odczytać jako nową odpowiedź na pytanie, kto ma liczyć, jeżeli liczenie „is unworthy of excellent men” — bo też Babbage pilnie studiował prace Leibniza. Promował np. Leibniza ujęcie rachunku różniczkowego i całkowego. Możemy więc pytać, dlaczego konstrukcje zarówno w wypadku *Difference Engine*, jak i *Analytical Engine* oparte były o system dziesiętny, a nie o preferowany przez Leibniza system binarny. Możemy pytać, dla-

³⁹ Matematyk, absolwent Trinity College w Cambridge. Jako młody człowiek przeczytał każdą książkę z algebry, która mu wpadła w rękę, wstając regularnie o trzeciej rano. Ta prestiżowa uczelnia, pielęgnując newtonowską matematykę, niewiele miała do zaoferowania młodemu utalentowanemu studentowi. Rozwój matematyki dokonywał się bowiem w oparciu o koncepcję Leibniza. Jako student założył *Analytical Society* i wraz z kolegami przetłumaczył fragment podręcznika współczesnej matematyki francuskiego matematyka Lacroix.

⁴⁰ Wcześniej pracował nad *Maszyną różnicową (Difference Engine)*. Dziś jest ona eksponowana w Londynie w Science Museum.

⁴¹ Więcej na temat Babbage'a, jego maszyny i jej rekonstrukcji por. [Swade 2002].

czego Babbage nawet tej sprawy nie rozważał. Być może, po prostu Leibniz dla matematyków liczył się jako twórca rachunku różniczkowego i całkowego, a to osiągnięcie odsunęło zainteresowanie innymi pracami Leibniza.

W 1991 r., na dwusetlecie urodzin Babbage'a, Doron Swade, starszy kustosz Science Museum of London, zbudował *Difference Engine # 2* — „komputer” według projektu Babbage'a, używając jedynie materiałów i technologii dostępnych w czasach Babbage'a w XVII w. Dowiódł on, że maszyna rzeczywiście działałaby zgodnie z planami projektanta.⁴²

Analytical Engine nie została wykonana. Pozostała idea ogólnego przeznaczenia. *Maszyna Analityczna* antycypowała uniwersalny komputer. W rozważaniach teoretycznych ideę tę podejmował Turing, inspiracje praktyczne zaś czerpał Aiken, konstruktor komputera uniwersalnego *Mark I*. Stąd też tytuł „ojciec komputerów” niektórzy odnoszą przede wszystkim do Babbage'a.

Znaczący udział w pracach Babbage'a miała Augusta Ada Byron (1815-1852), znana również jako lady Lovelace, córka poety Lorda Byrona, a żona lorda Lovelace.⁴³ Nie tylko wspomagała prace Babbage'a finansowo⁴⁴, zarówno z własnych środków, jak i ze środków pochodzących ze zbiorów i dotacji, lecz również miała swój wkład teoretyczny — pisała o technikach programowania, m.in. obliczaniu za pomocą maszyny analitycznej liczb Bernoulliego. Stąd niektórzy uznają ją, a nie Babbage'a, za pierwszego programistę. Lady Lovelace porównywała warsztat tkacki Jacquarda z *Maszyną Analityczną* Babbage'a ([Tylor 1843, s. 696], zob. również [Lovelace 1992]):

We may say most aptly that the Analytical Engine weaves algebraical patterns just as the Jacquard-loom weaves flowers and leaves.

Dodajmy, że na jej cześć Departament Obrony Stanów Zjednoczonych nazwał jeden z języków programowania *ADA*.⁴⁵

Pomysł Babbage'a z kartami perforowanymi okazał się bardzo trwały. Amerykański wynalazca, imigrant z Austrii, Herman Hollerith (1860-1929) w 1889 r. zain-

⁴² Tego, że projekty nie były wykończone przez Babbage'a należy upatrywać w cechach charakterologicznych tego twórcy. Babbage był ekscentrykiem. Jeden z biografów określa go jako porywczego geniusza (*irascible genius*). Prawdopodobnie był pierwowzorem Daniela Doyce'a w powieści Charles'a Dickens'a — *Little Dorrit*.

⁴³ Małżeństwo rodziców Ady trwało krótko. Matka była starą panną pochodzącą z purytańskiej arystokracji. Ojciec prowadził rozwiązły tryb życia. Matka Ady wyszła za mąż w przekonaniu, że zmieni burzliwy tryb życia Byrona. Ada była wychowywana przez ciotki, które podejrzewały, że mogła odziedziczyć po ojcu skłonność do rozpusty. Zmuszały ją do studiów matematycznych jako zajęcia diametralnie różnego od sztuki i poezji, co — w ich przekonaniu — miało odwrócić lub opóźnić konsekwencje jej „złej krwi”. To, że Ada Lovelace była programistką, nie jest wykluczone. Wszak maszyna Babbage była programowalna.

⁴⁴ Sam Babbage, nim utracił zaufanie, pozyskał środki publiczne, za które można by wybudować okręt wojenny.

⁴⁵ Więcej o Adzie Lovelace zob. [Moore ... 1977], [Stein 1987].

spirowany konduktorskim narzędziem do kasowania biletów wykorzystał ideę kart perforowanych, konstruując maszynę do obliczenia wyników spisu powszechnego w Stanach Zjednoczonych w 1890 r. Obliczenie wyników spisu powszechnego przeprowadzonego w 1880 r. trwało prawie siedem lat. Spodziewano się, że w wypadku kolejnego spisu — ponieważ przybyło ludności — zajmie to około dziesięciu lat.

Babbage użył kart perforowanych do „zapisania” instrukcji. Hollerith zastosował ten pomysł Jacquarda do zapisania danych. Każda karta reprezentowała jednego człowieka. Podzielona była na 240 kwadratów. Otwór w kwadracie miał określone znaczenie, oznaczał np. przedział wieku (co pięć lat) człowieka, którego była to karta. Karty wkładano do tabulatora. Zawarte dane przekazywane były automatycznie na skale tarczowe, które podawały bieżącą sumę dla każdej cechy, np. liczbę osób w różnych grupach wiekowych. Za pomocą maszyny nie dość, że wyniki obliczono w ciągu sześciu tygodni, to na dodatek udało się zredukować błędy. Karty zaś — co jest bardzo ważne — służyły do przechowania danych. W 1896 r. Hollerith zakłada firmę: *Tabulating Machine Company*, która po serii przekształceń, od 1924 za sprawą T. J. Watsona Sr. znana jest jako IBM (International Business Machines). To on spopularyzował logo: *Think*. Maszyna Holleritha była maszyną specjalnego przeznaczenia. W kolejnych latach wielu konstruktorów poczyniło znaczące postępy, konstruując maszyny do różnych nowych zadań. W 1931 r. Vannevar Bush (1890-1974) zbudował maszynę analogową do rozwiązywania równań różniczkowych, które długo stanowiły problem dla matematyków.

Kodowanie binarne zyskuje nowy wymiar, jeżeli koduje się za pomocą liczb (na nich bowiem można wykonywać operacje obliczeniowe). Pierwszy binarny kod o charakterze alfanumerycznym jest pomysłem Giuseppe Peano.⁴⁶ Zaprojektował on abstrakcyjną maszynę stenograficzną opartą na binarnym kodowaniu wszystkich sylab języka włoskiego. Stosował kodowanie szesnastobitowe (miał więc do dyspozycji 65 536 kombinacji). Oprócz kodowania fonemów zakodował dziesięć cyfr i 25 liter.

Co takiego można by uznać za szczególną zasługę Leibniza, jeśli mieć na uwadze sprawę binarnego kodowania? Jak się zdaje, to właśnie, że dostrzegł on systemowy charakter kodu binarnego, a więc możliwość wykonywania na nim operacji zarówno arytmetycznych — co sam opisał — oraz operacji logicznych — co uczynił Boole. Swoim przekonaniem, że wszystko jest stworzone z 0 i 1 antycypował to, czego jesteśmy świadkami, że wszelka informacja daje się zapisać binarnie. Jego teza ontologiczna o świecie jako stworzonym przez 1 za pomocą 0 otworzyła nowe perspektywy dla połączenia systemu informacji z metafizyką. Ta właśnie koncepcja, że wszystko daje się stworzyć z 0 i 1 jest powodem, dla którego twórca algorytmicznej teorii informacji Chaitin — jak pisze nie całkiem na serio — proponuje nazwać podstawową jednostkę informacji nie „bit”, lecz „leibniz” [Chaitin 2004]:

⁴⁶ Dodajmy, że w 1903 r. Peano stworzył język *Interlingua*. Była to wersja łaciny o bardzo uproszczonej gramatyce. Powoływał się przy tym na idee Leibniza.

[...] all of information theory derives from Leibniz, for he was the first to emphasize the creative combinatorial potential of the 0 and 1 bit, and how everything can be built up from this one elemental choice, from these two elemental possibilities. So, perhaps not entirely seriously, I should propose changing the name of the unit of information from the bit to the leibniz!

2.5. Rozwój i zastosowania systemu binarnego po Leibnizu

Po Leibnizu, 125 lat później George Boole (1815-1864) tworzy dwuwartościową algebrę, zwaną dziś algebrą Boole'a. Znaczenie pomysłu Boole'a polega na tym, że dla kodu binarnego tworzy logiczny system algebraiczny.

Zastosowania algebry Boole'a były przedmiotem studiów Claude Shannona, w szczególności w jego pracy magisterskiej na MIT (1937 r.): *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*.⁴⁷

Praca Shannona zapoczątkowała praktyczne projektowanie obwodów cyfrowych w oparciu o zasady algebry Boole'a. Można powiedzieć, że Shannon zaimplementował algebrę Boole'a w obwodach elektrycznych. Binarne kodowanie postrzegano wówczas jako w zasadzie narzędzie matematyczne. Shannon nadał mu więc nowy wymiar. Shannon skojarzył Boole'a z technologią. Pożytki płynące z algebry Boole'a w pełni zostały dostrzeżone wraz z nadejściem ery nowoczesnych komputerów. Z algebry Boole'a korzystamy dzisiaj na co dzień. Kiedy poszukujemy danych w internecie, stosujemy *NO*, *OR*, *AND* w ich boolowskim znaczeniu. Shannon również dostrzegł możliwość kodowania binarnego tekstów, wypowiedzi, muzyki itd. W 1961 roku John Kelly z *Bell Labs* zaprogramował komputer, aby śpiewał. Teza Shannona pokazała, jak bardzo Leibniz wyprzedzał daleko myślą swój wiek, zarówno filozoficznie, jak i technicznie. Intuicja podpowiedziała mu, że chiński kod *Yin-Yang* był bardziej uniwersalny i przedstawiał więcej niż tylko liczby. Nie bez powodu Norbert Wiener pisał⁴⁸ [Wiener 1948, s. 12]:

If I were to choose a patron saint for cybernetics, ... I should have to choose Leibniz.

W listopadzie 1937 r. Georg Stibitz, wówczas pracownik *Bell Labs*, zbudował oparty o przekładniki sumator, który nazwał „*Model K*” (kitchen — kuchnia, gdzie był montowany). Maszyna obliczała, używając systemu binarnego. *Bell Labs* zaakceptowało program badawczy ze Stibitzem jako kierownikiem. W styczniu 1940 r. zakończone zostały prace nad *Complex Number Computer*. Na pokazie dla American

⁴⁷ O pracy tej Herman Goldstine pisze [Goldstine 1972]:

Claude E. Shannon, the founder of what is often called Information Theory, in his master's thesis showed in a masterful way how the analysis of complicated circuits for switching could be affected by the use of Boolean algebra. This surely must be one of the most important master's theses ever written ... The paper was a landmark in that it helped to change digital circuit design from an art to a science.

⁴⁸ Por. [Glaser 1971], [Zacher 1973, s. 18-34].

Mathematical Society w Dartmouth College we wrześniu 1940 r. obecni byli John von Neumann, John Mauchly i Norbert Wiener, który pisze o tym w swoich pamiętnikach.

John Atanasoff, profesor fizyki na Iowa State College, buduje prototyp komputera binarnego *ABC* (Atanasoff-Berry Computer) przed 1939 r. Była to pierwsza elektroniczna maszyna obliczeniowa. Komputer używał 300 lamp próżniowych, kondensatorów do przechowywania danych cyfrowych i kart perforowanych do komunikacji *wejście-wyjście*. Maszyna nie była programowalna i z powodu wąskiej specjalizacji (równania różniczkowe) można ją określić jako elektroniczny kalkulator. Do całkowitej realizacji projektu nie doszło z powodu wybuchu wojny.

W tym też czasie komputer binarny buduje Konrad Zuse, niemiecki inżynier budownictwa i malarz amator. Pierwszy binarny komputer zbudował w kuchni swoich rodziców. W Europie zwykło się podejmować zagadnienia techniczne jako swego rodzaju pokłosie rozważań filozoficznych i teoretycznych. Zusego cechowało podejście amerykańskie, praktyczne, od strony zastosowań. Jego *Z3*⁴⁹ z 1943 roku było konstrukcją pracującą wyłącznie na bazie systemu dwójkowego⁵⁰ i było w pełni programowalne (za pomocą perforowanych zużytych taśm filmowych).

Jedną z ważniejszych konstrukcji komputerowych, ukończony w 1946 roku *ENIAC* (Electronic Numerical Integrator And Calculator)⁵¹ działał w oparciu o system dziesiętny.⁵² Każda z dziesięciu cyfr była reprezentowana przez jedną z dziesięciu w rzędzie lamp: cyfra była wskazywana przez lampę nieświecącą. Była to cyfra 5, gdy świeciły wszystkie lampy oprócz piątej w rzędzie. W *Mark I* stosowano dziesiętne przechowywanie za pomocą rotujących tarcz, które mogły zatrzymywać się na jednej z dziesięciu pozycji. *ENIAC* nie był programowalny za pomocą programu. Zmiana jego funkcji była możliwa poprzez zmianę w zewnętrznych przełącznikach i okablowaniu.

W omówionych konstrukcjach liczbowy system binarny zostaje wykorzystany do wykonywania obliczeń matematycznych. Choć przełączniki pracują tak, jak to opi-

⁴⁹ Egzemplarz tej maszyny znajduje się w Berlinie w Museum für Technik und Verkehr, a jej replika wykonana przez Zusego w Deutsches Museum w Monachium.

⁵⁰ „Bit” w jego maszynach miał budowę mechaniczną, a nie elektroniczną, jak to jest we współczesnych komputerach.

⁵¹ *ENIAC* dał początek całej serii komputerów pierwszej generacji — olbrzymich maszyn, które zapoczątkowały historię komputerów cyfrowych. *Z3* Zusego z 1941 r. choć w pełni programowalne, nie było w pełni elektroniczne. Brytyjski *Colossus* (w pracach nad jego koncepcją zaangażowany był Turing) był w całości elektroniczny, ale był wąsko specjalizowany i zaprogramowanie go było bardzo skomplikowane. *ENIAC* był komputerem ogólnego przeznaczenia, w całości elektronicznym.

⁵² Konstrukcja była dziełem fizyka Johna W. Mauchly i inżyniera elektronika Johna P. Eckerta. Z ich memorandum w marcu 1943 roku w czasie rutynowej kontroli ośrodka obliczeniowego Uniwersytetu Pensylwanii przypadkowo zapoznał się dr H. H. Goldstine, który pracował w Ballistic Research Laboratory. W czerwcu podpisano rozpoczęcie tajnego projektu *PX*.

sane jest w algebrze Boole'a⁵³, to nie jest to wykorzystanie w pełni tego, co wyraża istotę algebry Boole'a, a mianowicie nie jest to wykorzystanie algebry logiki. Do tego dochodzi dzięki von Neumannowi. W jego koncepcji binarnie zarówno wykonywane są operacje arytmetyczne, jak i logiczne. Von Neumann łączy więc w jedno kodowanie binarne oraz oba systemy binarne: arytmetyczny i logiczny.

Goldstine w swoich wspomnieniach mówi o szczęśliwym trafie, jakim latem 1944 roku było spotkanie von Neumanna na stacji kolejowej w Aberdeen. Goldstine pisze [Goldstine 1972, s. 182]:

Nigdy wcześniej nie spotkałem tego wielkiego matematyka, lecz oczywiście wiedziałem o nim bardzo wiele i przy wielu okazjach słuchałem jego wykładów.

Po dyskusji o mocy *ENIAC*-a, von Neumann żywo zainteresował się tą maszyną, a późnym latem 1945 roku przetestował ją w związku z obliczeniami niezbędnymi do konstrukcji bomby wodorowej. Von Neumann szybko został wprowadzony w kwestie struktury logicznej komputera kolejnej generacji *EDVAC*-a (**E**lectronic **D**iscrete **V**ariable **A**utomatic **C**omputer)⁵⁴, szkicując koncepcję „magazynowanego programu”. Instrukcje algorytmu mogły być przechowywane elektronicznie i wykonywane sekwencyjnie. W ten sposób von Neumann dał zarys „uniwersalnej maszyny liczącej” w sensie Alana Turinga [Turing 1937], czyli maszyny zdolnej wykonać dowolną procedurę algorytmiczną. Nie było to przypadkiem, von Neumann był zarówno zapoznany z postawionym przez Hilberta tzw. *Entscheidungsproblem*, jak i jego rozwiązaniem dokonany przez Turinga i powstała w związku z tym koncepcją uniwersalnej maszyny Turinga, która jest modelem programowalnego komputera. Ważna dla architektury von Neumanna koncepcja CPU (centralnej jednostki sterującej) była inspirowana dowodem twierdzenia Gödla: tym samym „kodem” zapisane zostały zarówno operacje, jak i argumenty operacji.

Koncepcję architektury komputera przedstawił von Neumann w napisanym w 1945 roku *First Draft of a Report on the EDVAC* [von Neumann 81] raporcie pod auspicjami University of Pennsylvania i United States Army Ordnance Department. W uzasadnieniu, jakie daje dla wyboru systemu binarnego — podobnie, jak to miało miejsce u Leibniza — odwołuje się do prostoty tego systemu. W raporcie czytamy [von Neumann 1981]:

⁵³ Co nie znaczy, że twórcy tych komputerów mieli o niej choćby pojęcie, np. Konrad Zuse takiej wiedzy był pozbawiony.

⁵⁴ Prace nad nim Mauchly i Eckert wspólnie z Johnem von Neumannem podjęli już w 1944 r. „Maszyna von Neumanna”, jak bywa nazywany *EDVAC*, była w całości elektroniczna, łatwa w programowaniu i posiadająca pamięć na przechowywanie programu. Podobnie jak *ENIAC* została zbudowana na Uniwersytecie Pensylwanii dla potrzeb *BRL*. Z *EDVAC*-a korzystano w latach 1952-1962. Był mniejszy od poprzednika, czyli *ENIAC*-a, ale technicznie dużo doskonalszy: posiadał pamięć operacyjną z rtęciową rurą opóźniającą na 1000 słów oraz wejście/wyjście z zastosowaniem taśmy perforowanej i kart dziurkowanych, a do kontroli sterowania zastosowano zwykły oscyloskop. Zajmował 45 m² i zawierał 6 tysięcy lamp próżniowych, 12 tysięcy diod, zużywał 56 kW mocy.

5.1 ... Since these tube arrangements are to handle numbers by means of their digits, it is natural to use a system of arithmetic in which the digits are also two valued. This suggests the use of the binary system.

5.2 A consistent use of the binary system is also likely to simplify the operations of multiplication and division considerably. Specifically it does away with the decimal multiplication table. ... In other words: Binary arithmetic has a simpler and more one-piece logical structure than any other, particularly than the decimal one.”

W raporcie podkreśla się, że:

An important part of the machine is not arithmetical, but logical in nature. Now logics, being a yes-no system, is fundamentally binary. Therefore, a binary arrangement of the arithmetical organs contributes very significantly towards a more homogeneous machine, which can be better integrated and is more efficient.

W architekturze von Neumanna następuje pełne wykorzystanie liczbowego i logicznego systemu binarnego oraz kodowania binarnego. Najprościej można by wyrazić to tak, że już nie tylko dane operacji są kodowane binarnie, lecz również binarnie kodowane są operacje. Leibniz zapisał binarnie liczby, Boole zapisał binarnie logikę, Gödel zapisał liczbami dane, Shannon pokazał, jak można realizować binarne operacje za pomocą obwodów elektrycznych, von Neumann wszystko to połączył w jedno. Tym samym zrealizowany byłby pomysł Leibniza. W opinii Wienera (1948):

The history of the modern computing machine goes back to Leibniz and Pascal. Indeed, the general idea of a computing machine is nothing but a mechanization of Leibniz's calculus ratiocinator.

Okazało się — co pokazał Gödel — że mechanizacja rozumowania ma ograniczenia. Choć język binarny stał się językiem uniwersalnym, za pomocą którego można wszystko wypowiedzieć, to jednak Leibnizowi nie tylko o to chodziło. Wciąż jednak jest miejsce na postęp, na realizację wyzwania Leibniza, jakim jest sztuczna inteligencja.

3. KOMPUTER LEIBNIZA

Leibniz marzył o maszynie do rachowania. Rachowane zaś miały być nie tylko liczby, ale również argumenty.⁵⁵

Cała wiedza miałaby być wyrażona w specjalnym języku, a reguły rachunkowe wystarczałyby dla określenia relacji logicznych. Człowiek uwolniony od rachowania miałby poświęcić się myśleniu twórczemu. Mimo swego optymizmu był przekonany, że sam takiemu zadaniu nie podoła. Wierzył jednak, że niewielka liczba zdolnych współpracowników mogłaby osiągnąć ten cel w kilka lat.

⁵⁵ Miał w tym poprzednika w osobie Raymundusa Lullusa i jego *ars combinatoria* oraz nawiązującego do Lullusa Athanasiusa Kirchera z jego *Ars Magna Sciendi* z 1669 [Kircher 1669]. Obu Leibniz krytykuje.

W 1673 roku na podstawie okazania maszyny liczącej wykonującej cztery operacje arytmetyczne Leibniz został jednogłośnie wybrany do the Royal Society of London. Wcześniejsza maszyna Pascala dodawała i mnożyła. Projektowana przez niego maszyna miała nadto odejmować i dzielić. W 1674 roku Leibniz opisał maszynę, która mogła być użyta do rozwiązywania równań algebraicznych.

W 1679 Leibniz przedstawił pomysł komputera wykorzystującego binarną arytmetykę. Binarne liczby były w nim reprezentowane przez kulki, które były sterowane przez dziurkowaną kartę.

Pisał [Leibniz 1679]:

This [binary] calculus could be implemented by a machine (without wheels) in the following manner, easily to be sure and without effort. A container shall be provided with holes in such a way that they can be opened and closed. They are to be open at those places that correspond to a 1 and remain closed at those that correspond to a 0. Through the opened gates small cubes or marbles are to fall into tracks, through the others nothing. It [the gate array] is to be shifted from column to column as required.

Kiedy pominiemy jako nieistotne, z czego są kulki, karta i jaka energia jest wykorzystana, to można powiedzieć, że ten pomysł Leibniza został zrealizowany we współczesnych komputerach. Różnice napięć i elektrony przejęły rolę siły grawitacyjnej i kulek. (Por. [Dyson 1997])

Leibniz skonstruował maszynę pracującą w oparciu o system dziesiętny. Opisał ją w 1685 r. w manuskrypcie pod tytułem: *Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur*. Pisał, że kilka lat wcześniej widział urządzenie do automatycznego zapisywania liczby kroków. Doszedł wówczas natychmiast do idei, że cała arytmetyka mogłaby być poddana podobnego rodzaju maszynie, która by nie tylko służyła do łatwego i szybkiego odliczania, lecz również do dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia. Píše, że w owym czasie nie znał *Pascaliny*.⁵⁶ Jednak, gdy tylko o niej usłyszał, napisał do Paryża do Carcavius'a, aby ten wyjaśnił mu jej działanie.

W swojej konstrukcji, którą Leibniz określał jako „licznik krokowy”, wykorzystany został fakt, że mnożenie jest po prostu wielokrotnym dodawaniem. Leibniz tak cenił swój wynalazek, że na jego cześć zaprojektował medal z napisem: *temu, co przewyższa człowieka*.⁵⁷

Na strychu w Getyndze zachował się oryginał przyrządu. Odnaleziono go w 1879 r. Jeden spośród skonstruowanych przez siebie egzemplarzy przekazał Leibniz Piotrowi Wielkiemu, aby ten dał go cesarzowi Chin. Nie jest jasne, czy oprócz tych dwóch zostały wykonane jeszcze inne prototypy.

⁵⁶ W 1642 r. 19 letni Pascal, aby wspomóc w rachunkach swojego ojca, który był poborcą podatkowym, zaprojektował sumator. Wykorzystał pomysł Herona z Aleksandrii (I w. n. e.). Pascal wykonał 50 egzemplarzy, ale dopiero po 20 latach maszyna zadziałała poprawnie. Podstawowa zasada działania *Pascaliny* wciąż znajduje zastosowanie w licznikach wody i drogomierzach.

⁵⁷ Por. <http://www.calculemus.org/>

Jedno z rozwiązań zwane kołem Leibniza było bardzo pomysłowe i było urządzeniem powszechnym w mechanicznych maszynach liczących aż do XX wieku. Koło to było przekładnią ze zmienną liczbą zębów. Liczby były „zapisywane” na kołach (*rotae minusculae*). Operacje arytmetyczne dokonywane były w wyniku obracania kół, co było ustawiane na specjalnym kole (*rota maiuscula*). Obroty dokonywane były za pomocą wielkiego koła (*magna rota*). Urządzenie składało się z części ruchomej (*pars mobilis*) i części nieruchomej (*pars immobilis*). Odejmovanie dokonywało się przez kręcenie w kierunku odwrotnym do kierunku, na którym dokonywało się dodawanie, a np. trzykrotny obrót dawał iloczyn ustawionej liczby przez 3. Z rozwiązania Leibniza korzystał Charles Xavier Thomas de Colmar, który w 1782 roku skonstruował arytmetometr, który był produkowany na skalę masową i sprzedawany przez 90 lat. Mimo że preferował system binarny, Leibniz przyjął rozwiązanie oparte o system dziesiętny ze względu na długość zapisu binarnego, co — jak łatwo zauważyć — było istotnym problemem w wypadku „komputerów” mechanicznych.

O swojej maszynie Leibniz pisał:

And now that we may give final praise to the machine we may say that it will be desirable to all who are engaged in computations which, it is well known, are the managers of financial affairs, the administrators of others' estates, merchants, surveyors, geographers, navigators, astronomers ... But limiting ourselves to scientific uses, the old geometric and astronomic tables could be corrected and new ones constructed by the help of which we could measure all kinds of curves and figures ... it will pay to extend as far as possible the major Pythagorean tables; the table of squares, cubes, and other powers; and the tables of combinations, variations, and progressions of all kinds, ... Also the astronomers surely will not have to continue to exercise the patience which is required for computation ... For it is unworthy of excellent men to lose hours like slaves in the labor of calculation which could safely be relegated to anyone else if the machine were used (cf. [Davis 2001, Rozdz. I: Leibniz's Dream], zob. [Leibniz 1685]).

Na zakończenie rozważań o leibnizjańskich inspiracjach informatyki zauważmy jeszcze, że również w myśli Leibniza można znajdować — co nie znaczy, że były bezpośrednim źródłem inspiracji — idee tak dziś powszechnej tendencji, aby tworzyć *user friendly* interfejs w szczególności poprzez stosowanie ikon oraz innych sposobów komunikowania się użytkownika z komputerem, które byłyby zrozumiałe dla każdego bez względu na jego wykształcenie i język ojczysty.

Według Leibniza doskonała wiedza zasad wszystkich nauk i sztuka ich zastosowania dzieli się na trzy jednakowo ważne części: sztukę rozumowania (logika), sztukę odkrywania (*ars inveniendi*) oraz sztukę zapamiętywania (*mnemonika*). Leibniz samym problemem zajmował się pisząc o *ars memoriae*. Już dla Platona było jasne, że łatwiej niż słowa zapamiętujemy obrazy. Przekonanie to podziela Giordano Bruno i właśnie Leibniz. Język doskonały miałby być oparty na obrazach, one mówią bardziej bezpośrednio do duszy.

4. ZAKOŃCZENIE

Leibniza idea maszynowego „myślenia” zapisanego językiem binarnym w jakiejś części realizowana jest przez współczesną informatykę. Zastosowania informatyki zmieniają nasze życie tak, jak tego chciał Leibniz, gdy pisał, że będzie to (*characteristica universalis*) ostatnim wysiłkiem ludzkiego ducha, kiedy bowiem projekt zostanie zrealizowany, człowiek będzie miał narzędzie powiększające możliwości rozumu, tak jak teleskop, który uzdalnia widzenie, i mikroskop, który umożliwił ujrzanie wnętrza przyrody. Dzięki niemu [Leibniz 2006, Leibniz an Heinrich Oldenburg (1673-1676), s. 373-381]:

...w trakcie mówienia, samą mocą sformułowań, gdy język będzie prowadził umysł, nawet głupcy będą wygłaszać wielce inteligentne zdania, dziwując się sami swojej wiedzy, bez trudu pokonując swą umysłową niemoc, a będzie owe wypowiedzi rozumiał nawet ktoś najgłupszy.⁵⁸

Przychodzi nam teraz dokonać osądu, do którego wzywał Leibniz, gdy pisał [Leibniz 2006, Leibniz an Heinrich Oldenburg (1673-1676), s. 373-381]:

Osądź, jak wielkie będzie nasze szczęście, jeśli za sto lat od tej chwili język taki powstanie.⁵⁹

Na konferencji zorganizowanej przez fizyków w Warszawie w 2005 roku *Foton — pierwsze sto lat i przyszłość*, komentując sformułowanie przez Einsteina 100 lat temu korpuskularnej teorii światła, wybitny fizyk Roger Penrose powiedział: „W każdej teorii musi być zawarty element fantazji”.

My dodajmy, że miarą wybitności jest to, czy fantazje te się spełniają. Leibniza fantazje — jeśli dzisiaj możemy je nazwać fantazjami — spełniają się.

LITERATURA

- Aiton, E. J. (1985), *Leibniz: A Biography*, Adam Hilger, Boston.
- Boole, G. (1847), *The mathematical analysis of logic: Being an essay towards a calculus of deductive reasoning*, Macmillan, Barclay, and Macmillan, Cambridge/George Bell, London. Przedruk Basil Blackwell, Oxford, 1951.
- Brousentsov, N. P. (1994), *Origins of informatics*, The New Millennium Foundation, Moscow. Po rosyjsku.
- Brousentsov, N. P., Maslov, S. P., Ramil, A. J., Zhogolev, E. (2005), ‘Development of ternary computers at Moscow State University’, Internet.
- Chaitin, G. J. (2004), ‘Leibniz, Randomness & the Halting Probability’.
<http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin/turing.html>

⁵⁸ „... inter loquendum ipsa phrasium vi lingua mentem praecurrente praeclaras sententias effluent imprudentes, et suam ipsi scientiam mirantes, cum ineptiae sese ipsae prodent nudo vultu, et ab ignarissimo quoque deprehenduntur”. Tłumaczenie W. Marciszewski.

⁵⁹ „Quantam nunc fore putas felicitatem nostram si centum ab hinc annis talis lingua coepisset”. Tłumaczenie W. Marciszewski.

- Ching, J., Oxtoby, W. G. (1992), *Moral Enlightenment: Leibniz and Wolff on China*, Steyler Verlag, Nettetal.
- Couturat, L. (1901), *La logique de Leibniz d'après des documents in'édits*, Alcan, Paris. Przedruk Olms: Hildesheim 1961, 1969.
- Czerniak, L. (2002), 'Troicznaja maszyna w XIX wieku (ternary machine in the 19th century)', *Computerworld Russia* 42(347). zob. <http://www.osp.ru/cw/2002/42/0311print.htm>
- Davis, M. (2000), *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*, W. W. Norton & Company, New York.
- Davis, M. (2001), *Engines of Logic. Mathematicians and the Origin of the Computer*, W. W. Norton & Company, New York.
- De Morgan, A. (1837-1843), 'Description of a calculating machine, invented by Mr. Thomas Fowler of Torrington in Devonshire', *Abstracts of the Papers Printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 4 ss. 243–244. Streszczenie (De Morgan 1840).
- De Morgan, A. (1840), 'Description of a calculating machine, invented by Mr Thomas Fowler of Torrington in Devonshire', AP.23.24., London: The Royal Society.
- Dyson, G. B. (1997), *Darwin Among the Machines: The Evolution of Global Intelligence*, Helix Books/AddisonWesley. Tłum. polskie: *Darwin wśród maszyn. Rzecz o ewolucji inteligencji*, Prószyński, 2005.
- Glaser, A. (1971), *History of Binary and Other Nondecimal Numeration*, Anton Glaser, Southampton, PA.
- Glashoff, K. (2006), 'Gottfried Wilhelm Leibniz — die Utopie der Denkmaschine', <http://www.logic.glashoff.net/Texte/GottfriedWilhelmLeibniz6.pdf#search=%22%22Wenn%20Gott%20Eurer%22%22>
- Goldstine, H. H. (1972), *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Hayes, B. (2001), 'Third base', *American Scientist* 89(6), 490-494. <http://www.americanscientist.org/content/AMSCI/AMSCI/ArticleAltFormat/20035214317146.pdf>
- Heath, F. G. (1972), 'Le origini del codice binario', *Le Scienze* 51, 90–97.
- Kircher, A. (1669), *Ars Magna Sciendi*, Amsterdam. In XII Libros digesta, qua Nova & Universali Methodo...
- Knuth, D. E. (1969), *The art of computer programming*, Vol. 2 of *Seminumerical algorithms*, Addison-Wesley. Polski przekład: *Sztuka programowania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, t. 1–3, 2001.
- Künzel, W. (2006), 'The birth of the machine: Raymundus Lullus and his invention', URL: <http://www.c3.hu/secca/butterfly/Kunzel/synopsis.html>.
- Koenderink, J. J. (1990), *Solid Shape*, MIT Press, Cambridge Mass.
- Langley-Levy Moore, D. (1977), *Ada, Countess of Lovelace: Byron's Legitimate Daughter*, London.
- Leibniz, G. W. (1666), *Dissertatio de Arte Combinatoria*, Leipzig.
- Leibniz, G. W. (1679), *De Progressione Dyadica*, Vol. Pars I. Opublikowane jako faksymile (razem z niemieckim tłumaczeniem) w: Erich Hochstetter i Hermann-Josef Greve, red., *Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Einz* (Berlin: Siemens Aktiengesellschaft, 1966), s. 46-47. Na angielski przełożone przez E Verena Huber-Dyson, 1995.
- Leibniz, G. W. (1685), *Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur*, Vol. Math. III A.2-c.
- Leibniz, G. W. (1697), 'Brief an den Herzog von Braunschweig-Wolfenbüttel Rudolph August, 2. Januar 1697',

- http://www.fhaugsburg.de/harsch/germanica/Chronologie/17Jh/Leibniz/lei_bina.html
- Leibniz, G. W. (1703), 'Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caractères 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce qu'elle donne le sens des anciennes figures Chinoises de Fohy', *Memoires de l'Académie Royale des Sciences* 3, 85–89.
- Leibniz, G. W. (1838/1840), *Deutsche Schriften*, Vol. I–II, Berlin.
- Leibniz, G. W. (1890), *Philosophische Schriften*, t. VII, Berlin.
- Leibniz, G. W. (1962), Explication de l'arithmétique binaire, qui se sert des seuls caracteres 0 et 1, avec des remarques sur son utilité, et sur ce qu'elle donne des anciennes figures chinoises de fohy, in C. I. Gerhardt, red., 'G. W. Leibniz Mathematische Schriften', Olms, Hildesheim, s. 223-227.
- Leibniz, G. W. (2005), Leibniz an Joachim Bouvet, in 'Leibniz. Sämtliche Schriften un Briefe. Allgemeiner und gelehrter Briefwechsel 1700–1701', Vol. 19 B of I, Berlin-Brandenburischen Akademie der Wissenschaften und der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Berlin, s. 401-416.
- Leibniz, G. W. (2006), *Sämtliche Schriften und Briefe*, Vol. 1, *Zweite Reihe Philosophischer Briefwechsel*, Akademie Verlag.
- Lovelace, A. K. (1992), *Ada, The Enchantress of Numbers. A Selection from the Letters of Lord Byron's Daughter and Her Description of the First Computer*, Strawberry Press, Mill Valley, CA.
- Marciszewski, W., Murawski, R. (1995), *Mechanization of Reasoning in a Historical Perspective*, Rodopi, Amsterdam.
- Needham, J. (1956), *Science and Civilization in China*, Vol. 2.
- Neuman, J. v. (1981), First Draft of a Report on the EDVAC, w: N. Stern, red., 'From ENIAC to UNIVAC: An Appraisal of the Eckert-Mauchly Computers', Digital Press, Bedford, Massachusetts, s. 177-246.
- Parea, A., Soriano, P., Terzi, P. (1977), *L'aritmetica binaria e le altre aritmetiche di Giovanni Caramuel vescovo di Vigevano*, Centro Vigevanese per la Ricerca Scientifica pura ed applicata, red. fuori commercio.
- Peckhaus, V. (1994), Leibniz als Identifikationsfigur der britischen Logiker des 19. Jahrhunderts, w: 'VI. Internationaler Leibniz-Kongreß. Vorträge. I. Teil, Hannover, 18.-22.7.1994', Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Gesellschaft, Hannover, s. 589-596.
- Peckhaus, V. (1997), *Logik, Mathesis universalis und allgemeine Wissenschaft. Leibniz und die Wiederentdeckung der formalen Logik im 19. Jahrhundert*, Akademie Verlag, Berlin.
- Peckhaus, V. (1999), '19th century logic between philosophy and mathematics', *The Bulletin of Symbolic Logic* 5(4), 433-450.
- Ryan, J. A. (1996), 'Leibniz' binary system and Shao Yong's Yijing', *Philosophy East & West* 46.
- Peckhaus, V. (2005), 'Leibniz und die britischen Logiker des 19. Jahrhunderts'. Erweiterte und revidierte Fassung des Vortrag, gehalten am 22. Juli 1994 auf dem VI. Internationalen Leibniz-Kongreß in Hannover. (Peckhaus 1994)
www.fakkw.upb.de/institute/philosophie/Personal/Peckhaus/Texte/zumDownload/leibnizboole.pdf
- Schupp, F. (1988), Einleitung. Zu II. Logik, w: A. H. Schupp, red., 'Leibniz' Logik und Metaphysik', Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. (= Wege der Forschung; 328), 41-52.
- Stein, D. (1987), *Ada: A Life and Legacy*, MIT Press, Cambridge.
- Swade, D. (2002), *The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*, Penguin Books.
- Swetz, F. J. (2003), 'Leibniz, the Yijing, and the religious conversion of the Chinese', *Mathematics Magazine* 76(4), 276-291.

- Taylor, R. (1843), *Scientific Memoirs, Selections from The Transactions of Foreign Academies and Learned Societies and from Foreign Journals*, Vol. 3, London. Article XXIX. Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage Esq. By L. F. Menabrea, of Turin, Officer of the Military Engineers.
- Turing, A. M. (1936–37), ‘On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem’, *Proceedings of the London Mathematical Society* 42(Series 2), 230-265. Received May 25, 1936; Appendix added August 28; read November 12, 1936; corrections Ibid. t. 43(1937), ss. 544-546. Artykuł Turinga ukazał się w części 2-giej t. 42, który został opublikowany w grudniu 1936 (Przedruk w: M. Davis (red.) 1965, s. 116-151; korekta ibid. s. 151-154). Wersja internetowa: <http://www.abelard.org/turpap2/tp2-ie.asp>
- Widmaier, R. (1990), *Leibniz Korrespondiert mit China*, Frankfurt am Main.
- Wiener, N. (1948), *Cybernetics; or control and communication in the animal and the machine*, wyd. poprawione 1961, MIT Press, Cambridge Mass.
- Zacher, H. J. (1973), *Die Hauptschriften der Dyadik von G. W. Leibniz, ein Beitrag zur Geschichte des Binaeren Zahlensystems*, Frankfurt am Main.