

CYBERNETYKA

I. Wstęp

Cybernetyka jest bardzo młodą nauką o bardzo starej nazwie. Wyraz „cybernetyka” pochodzi z greckiego „kybernetiken” — umiejętność kierowania („kybernetes” — sternik okrętu). Według „Gorgiasza” Platona wyrazu tego miał użyć Sokrates w zdaniu: „Cybernetyka chroni od największych niebezpieczeństw nie tylko dusze, lecz również ciała i dobytek”. Ampère w swoim „Eseju o filozofii nauki” z 1834 r. nazywa cybernetyką tę część polityki, która zajmuje się metodami rządzenia; w tym samym znaczeniu używał tego wyrazu Trentowski w pracy „Stosunek filozofii do cybernetyki”.

Od 1948 r., kiedy to ukazała się książka Norberta Wienera, profesora matematyki w Instytucie Technologicznym w Massachusetts, pt. „Cybernetyka, czyli sterowanie i łączność w zwierzęciu i maszynie” (Cybernetics or Control and Communciation in the Animal and the Machine), wyraz „cybernetyka” przyjął się jako nazwa ogólnej nauki o sterowaniu, a sam Wiener jest uważany za twórcę tej nauki.

Podstawową ideą w kształtowaniu się cybernetyki było dopatrywanie się podobieństwa między procesami sterowniczymi w maszynach i w organizmach żywych. Prekursorami tej idei byli Kartezjusz (1596—1650) i Condillac (1715—1780). Zaczęła ona dojrzeć dopiero w bieżącym stuleciu, co znalazło wyraz w licznych publikacjach, poczynszyszy od książki Lafitte’a „Rozważania o nauce o maszynach” z 1932 r., poprzez prace sławnych dziś autorów, jak np. Couffignal („Maszyny myślące”, 1938), Rashevsky („Biofizyka matematyczna”, 1938), McCulloch i Pitts (artykuły na temat teorii, według której działanie neuronu obejmuje tylko dwa stany: stan pobudzenia i stan braku pobudzenia, bez stanów pośrednich), Ashby (stany równowagi w maszynach i organizmach),

Craik (analogia między układem nerwowym a maszyną matematyczną), Shannon (zastosowanie logiki matematycznej w technice łączności). Po 1948 r. (tj. po ukazaniu się książki Wienera) sytuacja była już całkowicie dojrzała do wyodrębnienia się cybernetyki jako nauki. W ciągu kilkunastu lat, które od tego czasu upłynęły, powstała rozległa, licząca tysiące publikacji literatura cybernetyczna, która i nadal rozwija się żywiołowo.

II. Sterowanie

Definicja cybernetyki jako nauki o sterowaniu jest prosta, jeżeli się rozumie wyraz „sterowanie”. Wyraz ten jest dobrze znany w technice, a w szczególności w automatyce, wymaga jednak bliższego objaśnienia dla czytelników spoza techniki, tym bardziej, że w cybernetyce znaczenie jego zostało uogólnione.

Sterowanie jest to wywieranie pożądanego wpływu na dowolne zjawiska. Sterowaniem jest np. regulacja ciśnienia pary w kotle, kierowanie samochodem, wydzielanie się hormonów w organizmie, zmienianie programów nauczania w szkołach, obniżanie lub podwyższanie podatków itp.

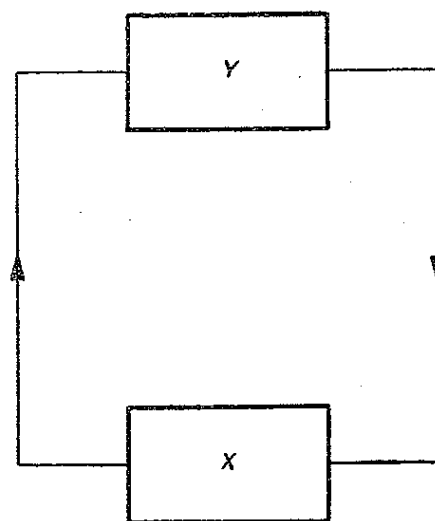
Jeżeli to, co steruje, nazwiemy podmiotem sterowania, a to, co jest sterowane — przedmiotem sterowania, to możemy powiedzieć, że w procesach sterowniczych podmiot sterowania oddziałuje na przedmiot sterowania. Wynikający stąd związek między podmiotem sterowania a przedmiotem sterowania nosi nazwę sprzężenia.

Jednakże i przedmiot sterowania oddziałuje na podmiot sterowania, ponieważ przebieg sterowania zależy od tego, co się z przedmiotem sterowania w danej chwili dzieje. Na przykład jeżeli ciśnienie pary wzrośnie nadmiernie, to regulator spowoduje zmianę (obniżenie) ciśnienia, ale działanie regulatora zostało przecież spowodowane zmianą (wzrostem) ciśnienia. Kierowca kieruje samochodem, ale i samochód pędzący w niewłaściwym kierunku zmusza kierowcę do odpowiednich manipulacji kierownicą; komisja programowa układa programy nauczania, ale wadliwe programy są powodem odpowiednich decyzji komisji programowej itp. A zatem w procesie sterowniczym występuje sprzężenie podmiotu sterowania z przedmiotem sterowania polegające na wzajemnym

ich oddziaływaniu; nosi ono nazwę sprzężenia zwrotnego.

Sprzężenie zwrotne można przedstawić schematycznie jak na rys. 1. Przedmiot sterowania Y znajduje się w pewnym stanie oddziaływającym na podmiot sterowania X, co sprawia, że podmiot sterowania X oddziałuje na przedmiot sterowania Y i w ten sposób zmienia jego stan. Zmieniony stan przedmiotu sterowania Y oddziałuje na podmiot sterowania X, w którym wobec tego zmienia się oddziaływanie na przedmiot sterowania Y, itd.

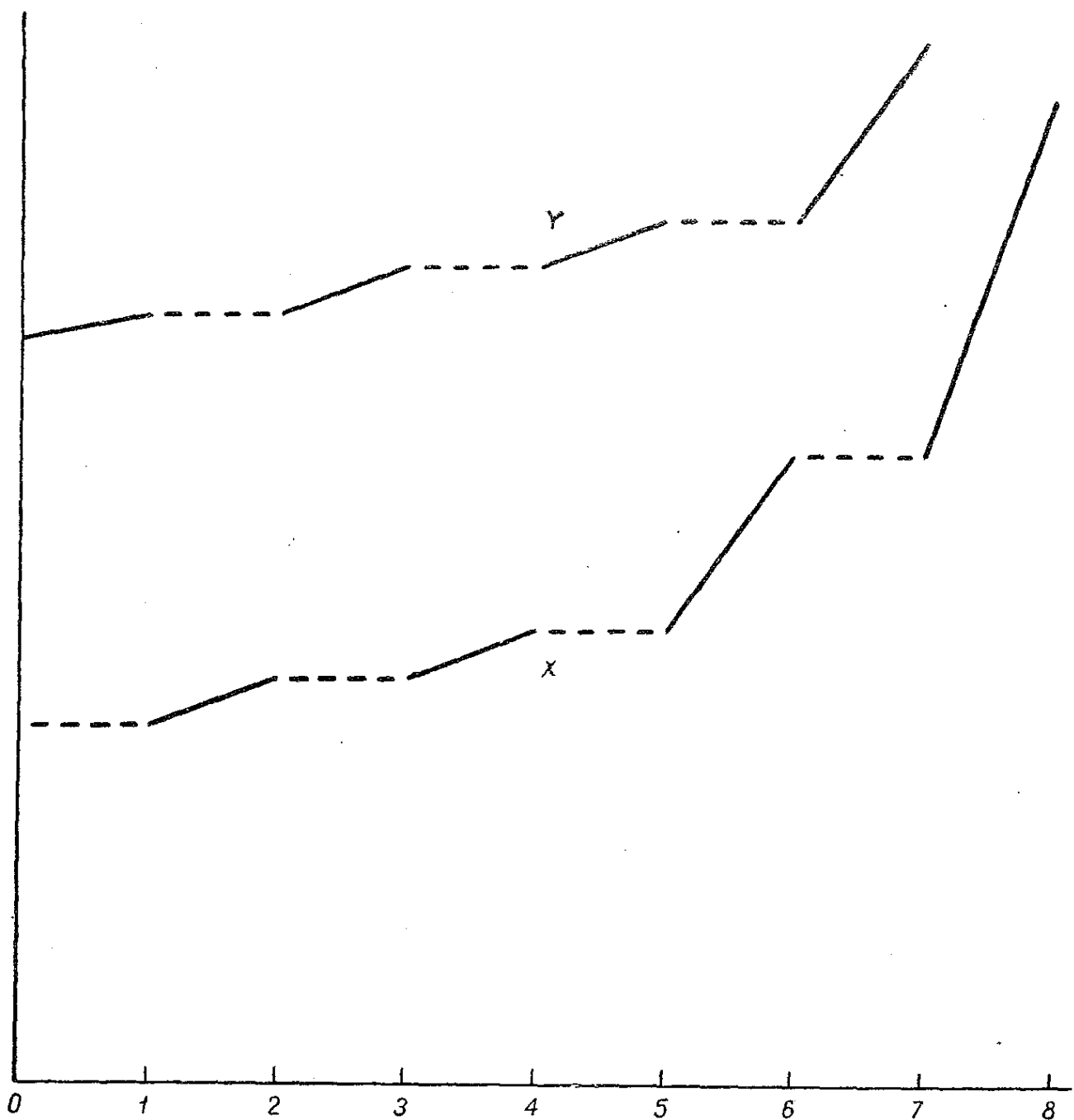
Rozróżnia się sprzężenie zwrotne dodatnie, w którym oddziaływania wzajemne się wzmagają, i sprzężenie zwrotne ujemne, w którym oddziaływania wzajemne się przeciwstawiają.



Rys. 1. Sprzężenie zwrotne

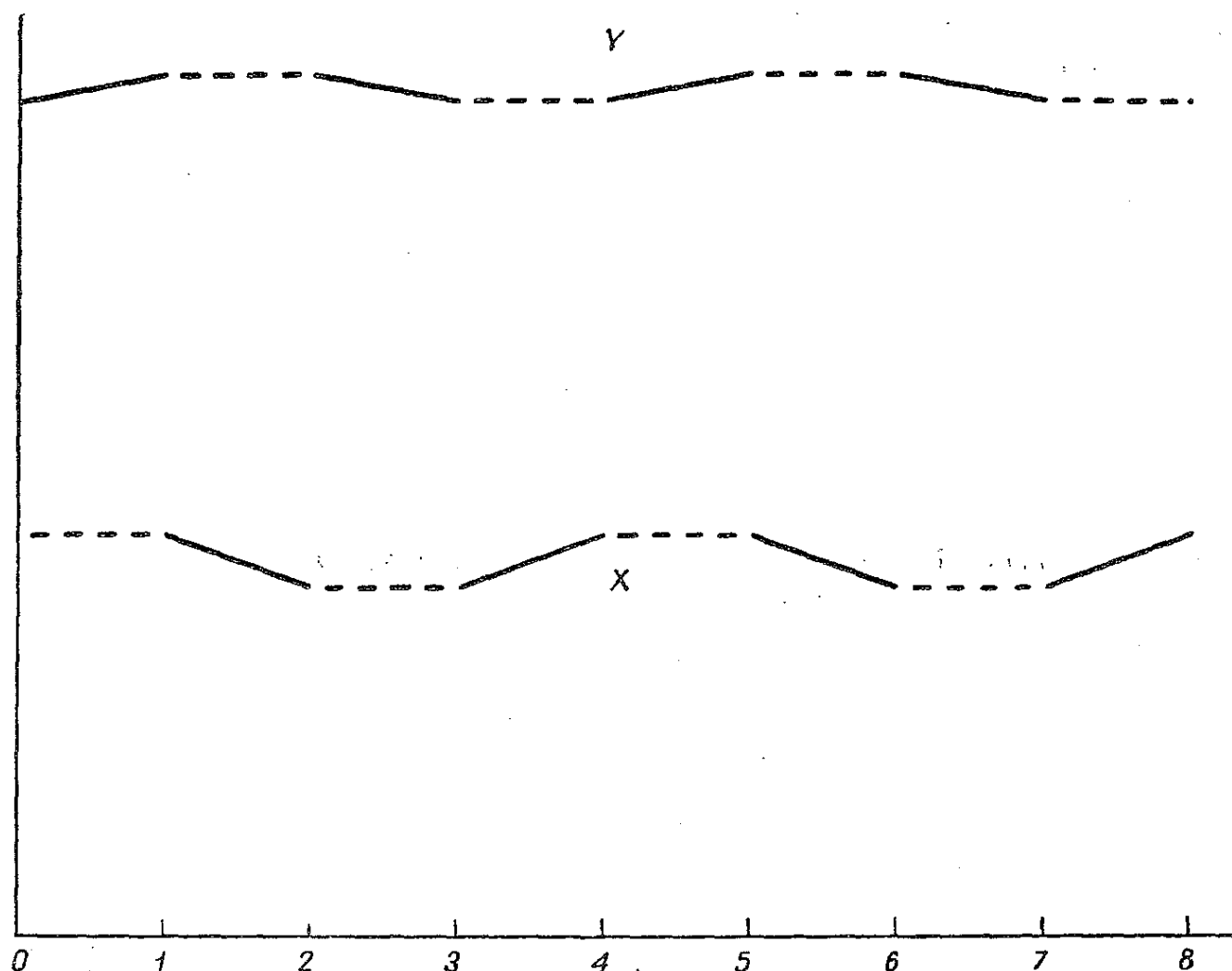
Na rys. 2 przedstawiono przebieg oddziaływań przy sprzężeniu zwrotnym dodatnim. Przypuśćmy, że w pierwszym okresie czasu t stan przedmiotu sterowania Y wzrósł pod jakimś względem, co sprawia, że w drugim okresie czasu stan podmiotu sterowania X wzrósł pod jakimś innym względem. Wskutek tego w trzecim okresie stan Y jeszcze bardziej wzrasta, co prowadzi w czwartym okresie do jeszcze większego wzrostu stanu X, itd. Ze sprzężeniem zwrotnym mamy do czynienia np. przy tonięciu okrętu: przez wyszczerbioną burzę okrętu wlewa się woda, zwiększając zanurzenie okrętu, co sprawia, że wody wlewa się coraz więcej, wskutek czego okręt zanurza się coraz głębiej itd. Przykładem takiego sprzężenia jest również kłótnia, w której obraźliwe słowa jednej ze stron pobudzają stronę przeciwną do jeszcze bardziej obraźliwych słów itd.

Na rys. 3 przedstawiono przebieg oddziaływań przy sprzężeniu zwrotnym ujemnym. Przypuśćmy, że w pierwszym okresie czasu t stan przedmiotu sterowania Y wzrósł pod jakimś względem, co sprawia, iż w drugim okresie czasu stan podmiotu sterowania X zmalał pod jakimś innym względem powodując, że w trzecim okresie stan Y zmalał, co w czwartym okresie prowadzi z kolei



Rys. 2. Oddziaływania przy sprzężeniu zwrotnym dodatnim

do wzrostu stanu X itd. Jak to ilustruje rys. 3, wzajemne oddziaływanie X i Y prowadzi do utrzymania się stanów, z których żaden nie może nadmiernie wzrosnąć ani nadmiernie zmaleć. Jako przykład sprzężenia zwrotnego ujemnego można przytoczyć regulację poziomu wody w zbiorniku (zaopatrzonym w dwa otwory, przy czym przez górny otwór woda dopływa, a przez dolny odpływa): podnoszenie się poziomu wody sprawia, że zamyka się zawór pływakowy i odcina dopływ wody, wobec czego poziom wody się obniża, ale wówczas zawór się otwiera, umożliwiając dopływ wody i podnoszenie się jej poziomu itd. Inny przykład: zaniedbującemu się uczniowi nauczyciel zaczyna stawiać złe



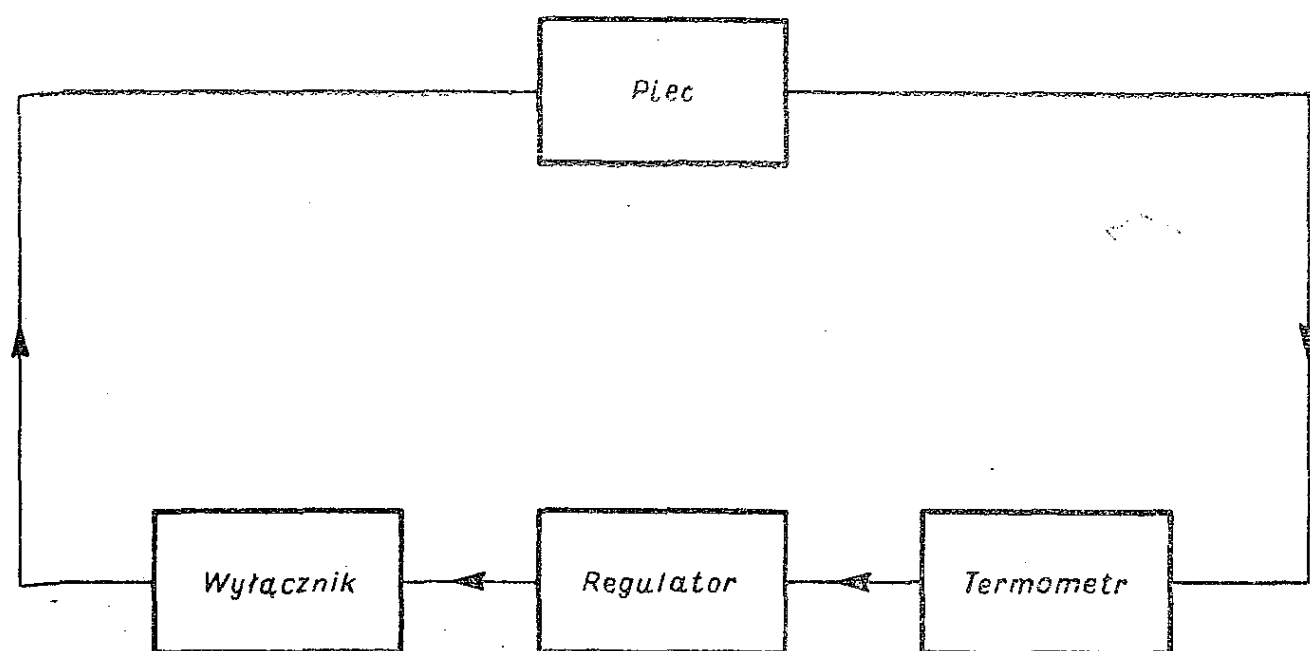
Rys. 3. Oddziaływania przy sprzężeniu zwrotnym ujemnym

stopnie, co pobudza ucznia do większej pracowitości; za lepsze wyniki nauczyciel stawia mu dobre stopnie, wobec czego uczeń zaczyna „spoczywać na laurach” i opuszcza się w lekcjach, ale otrzymanie złych stopni znów go pobudza do pracy itd.

Sprzężenie zwrotne ujemne ma w procesach sterowniczych szczególnie doniosłe znaczenie, ponieważ pozwala z dużą dokładnością utrzymać stałość pożądaných stanów. Rozpatrzmy bliżej kilka przykładów tego rodzaju.

Przypuśćmy, że w jakimś przemysłowym piecu elektrycznym ma być utrzymywana stała temperatura. Cel ten można osiągnąć, gdy w razie nadmiernego wzrostu temperatury dopływ energii elektrycznej, zasilającej piec, zostanie zmniejszony, a w razie nadmiernego obniżenia się temperatury dopływ energii zostanie zwiększony. W szczególności przedstawia się to następująco. Przede wszystkim trzeba mieć możliwość wykrywania zmian temperatury; do tego celu służy termometr umieszczony wewnątrz

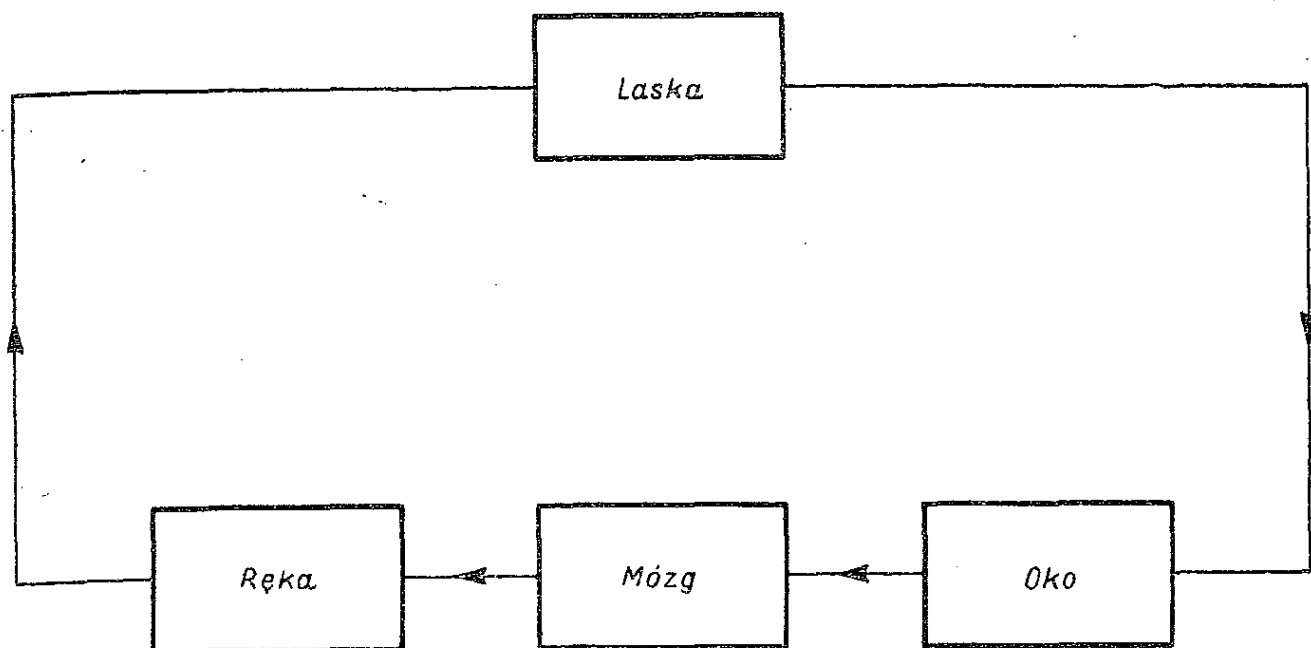
pieca. Gdy temperatura wzrośnie nadmiernie, termometr wykryje to i pobudzi do działania połączony z nim regulator temperatury, który z kolei spowoduje otwarcie wyłącznika przerywającego dopływ energii elektrycznej do pieca. Wskutek tego piec zaczyna stygnąć — temperatura wewnątrz pieca obniża się, termometr pobudza do działania regulator temperatury, który z kolei spowoduje zamknięcie wyłącznika i wznowienie dopływu energii, itd. Schematycznie można ten obieg sterowniczy przedstawić jak na rys. 4. Przedmiotem sterowania jest piec; podmiotem sterowania jest zespół złożony z termometru, regulatora i wyłącznika; zespół ten odbiera oddziaływanie pieca poprzez termometr, a sam na niego oddziałuje poprzez wyłącznik.



Rys. 4. Techniczny przykład obiegu sterowniczego

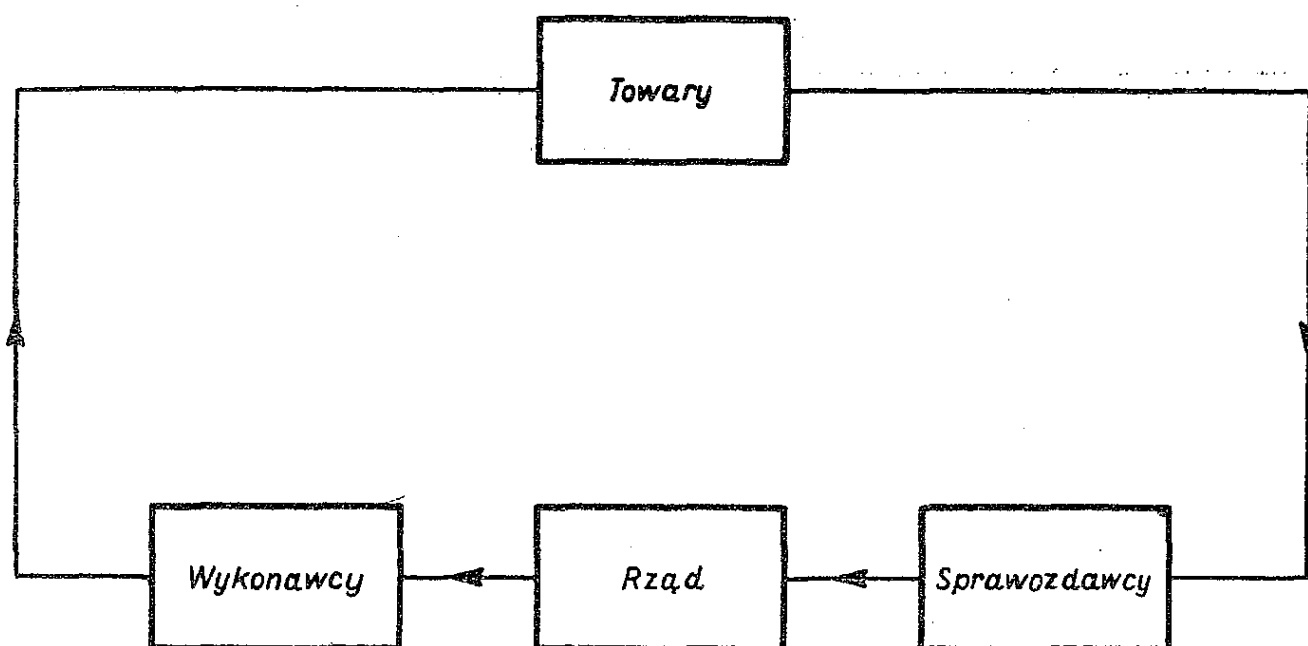
A oto przykład dotyczący zachowania się organizmu. Chcąc utrzymać w położeniu pionowym łaskę, opartą jednym końcem na palcu, człowiek obserwuje drugi koniec łaski. Odchylenia łaski od pionu są spostrzegane przez oko; spostrzeżenia podlegają ocenie mózgu, w wyniku czego następuje ruch ręki, zapobiegający nadmiernemu odchyleniu łaski. Występujący przy tym obieg sterowniczy można przedstawić schematycznie jak na rys. 5. Przedmiotem sterowania jest łaska, podmiotem sterowania jest zespół złożony z oka, mózgu i ręki; zespół ten odbiera oddziaływanie łaski poprzez oko, a sam oddziałuje na nią poprzez rękę.

I wreszcie przykład dotyczący zachowania się społeczności, czyli zorganizowanego zbiorowiska organizmów, jak np. państwo, armia,



Rys. 5. Fizjologiczny przykład obiegu sterowniczego

stowarzyszenie, fabryka, rodzina itp. Przypuśćmy, że rząd jakiegś kraju chce utrzymać obrót pewnych towarów w określonych granicach. Niepożądane odchylenia są obserwowane przez wyznaczonych sprawozdawców, którzy komunikują wyniki swoich obserwacji rządowi; po dokonaniu oceny tych wyników rząd wydaje odpowiednie decyzje (np. co do podniesienia lub obniżenia ceny towarów), wprowadzane w życie przez wyznaczonych wykonawców. Schematycznie przedstawia to rys. 6. Przedmiot sterowania są towary; podmiotem sterowania jest zespół złożony ze sprawozdawców, rządu i wykonawców; zespół ten odbiera od-

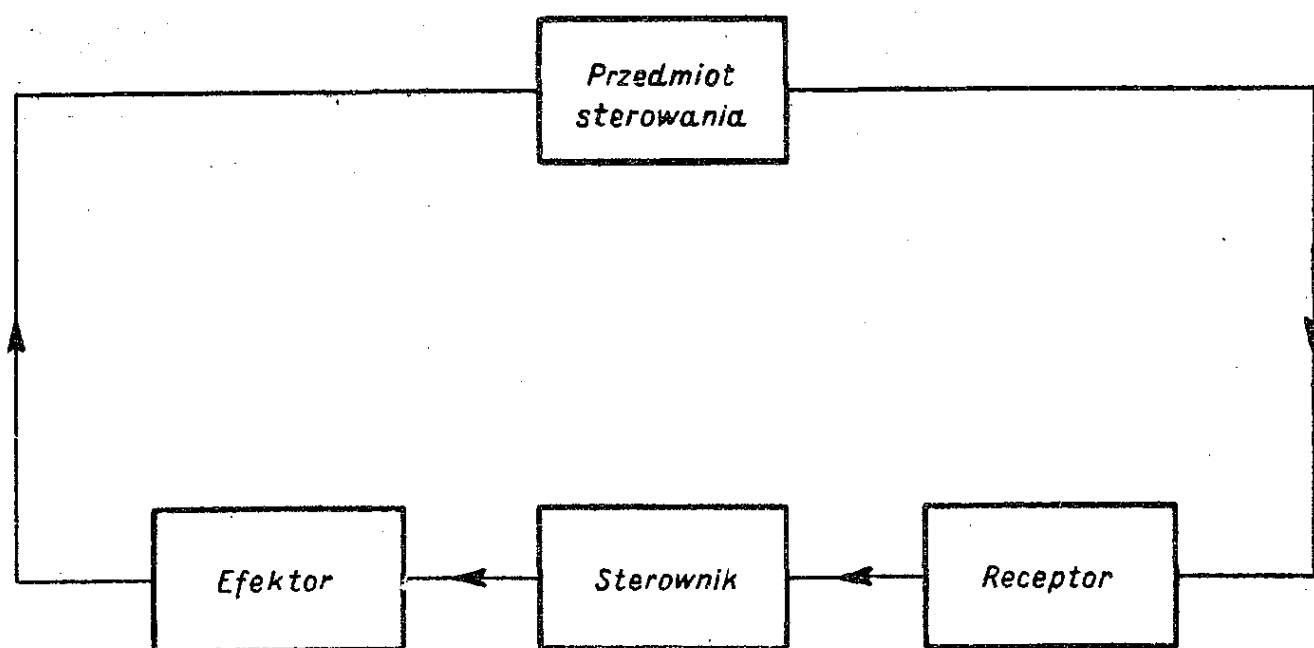


Rys. 6. Socjologiczny przykład obiegu sterowniczego

działywanie towarów poprzez sprawozdawców, a sam oddziaływa na nie poprzez wykonawców.

Łatwo stwierdzić, że między przytoczonymi przykładami zachodzi daleko idące podobieństwo. To właśnie podobieństwo rozmaitych procesów sterowniczych stało się podstawą cybernetyki jako nauki zajmującej się badaniem zasad ogólnych, którym podlegają poszczególne przypadki sterowania. Aby uwolnić się od nieistotnych szczegółów związanych z konkretnymi przypadkami sterowania, wprowadzono ogólną terminologię cybernetyczną, według której w każdym procesie sterowniczym występują co najmniej trzy następujące organy sterownicze: *receptory*, czyli organy wykrywające zmiany w przedmiocie sterowania, *sterowniki*, czyli organy dokonujące oceny informacji otrzymanych od receptorów, oraz *efektory*, czyli organy, które stosownie do zachowania się sterowników wywierają odpowiedni wpływ na przedmiot sterowania. Podmiotem sterowania jest więc zespół złożony z receptora, sterownika i efektora (rys. 7); zespół ten odbiera oddziaływanie przedmiotu sterowania poprzez receptor, a sam oddziaływa na przedmiot sterowania poprzez efektor.

Jak widać, zamiast schematów przedstawionych na rys. 4, 5 i 6 oraz wielu innych, jakie można byłoby zestawić dla poszczególnych przypadków sterowania, mamy do czynienia z jednym tylko schematem ogólnym odnoszącym się do wszelkich przypadków sterowania. Receptorami są zarówno wszelkie przyrządy



Rys.7 Obieg sterowniczy w ujęciu cybernetycznym

pomiarowe stosowane w technice, jak i narządy zmysłów, w które są wyposażone organizmy, czy też ludzie przeprowadzający obserwacje w określonej społeczności. Sterownikami są przyrządy regulacyjne w urządzeniach technicznych, mózg ludzki i zwierzęcy oraz kierownicy rozmaitych społeczności. Efektorami są wszelkiego rodzaju zawory i mechanizmy napędowe w maszynach, mięśnie w organizmach oraz wykonawcy poleceń kierownictwa w społecznościach. W cybernetyce operuje się pojęciami receptorów, sterowników i efektorów nie wnikając w to, czym te organy są w konkretnych przypadkach. Inaczej mówiąc, w cybernetyce chodzi przede wszystkim o to, jak te organy działają, a nie o to, jak one są zbudowane.

Zagadnieniami sterowania w urządzeniach technicznych zajmuje się automatyka. Gdyby zagadnienia te dotyczyły tylko techniki, to opracowywanie coraz bardziej złożonych procesów sterowniczych byłoby traktowane po prostu jako przejaw rozwoju automatyki. Rzecz w tym jednak, że procesy sterownicze o odpowiednio wysokim stopniu komplikacji nie są czymś charakterystycznym wyłącznie dla techniki. Występują one również w organizmach i dlatego interesuje się nimi fizjologia, biologia, neurologia, psychologia itp., oraz w społecznościach, a więc wchodzą w zakres socjologii, ekonomii itp. Ponadto ogólny charakter procesów sterowniczych związał z cybernetyką logikę i matematykę.

Jak z tego wynika, cybernetyka nie jest po prostu jednym więcej działem nauki, lecz nauką koordynującą wiele działów nauki. Pojawienie się cybernetyki sprawiło, że tradycyjny podział na nauki matematyczno-przyrodnicze i nauki humanistyczne stał się bezprzedmiotowy. Dotychczasowe wyodrębnienie nauk humanistycznych opierało się na założeniu, że funkcjonowanie organizmu ludzkiego, zwłaszcza w zakresie myślenia, różni się zasadniczo od działania maszyn. Obecnie, gdy maszyny mogą dokonywać przekładów z jednego języka na inny, komponować symfonie, grać w szachy itp.; wyodrębnianie takie straciło swoje uzasadnienie.

W cybernetycznym ujęciu procesów sterowniczych stało się możliwe zarówno wykorzystywanie wiedzy o działaniu organizmów do konstruowania podobnie działających maszyn, jak i wykorzystywanie wiedzy o maszynach do pogłębiania wiedzy o działaniu organizmów.

III. Informacje

Współdziałanie receptorów ze sterownikami można traktować jako przenoszenie informacji o zmianach, wykrywanych przez receptory w przedmiocie sterowania, do sterowników. W odniesieniu do przytoczonych powyżej przykładów można powiedzieć, że regulator temperatury jest informowany przez termometr o zmianach temperatury w piecu, mózg jest informowany przez oko o odchyleniach łaski, rząd jest informowany przez sprawozdawców o obrocie towarowym itp.

W świetle tych przykładów zrozumiałe jest zainteresowanie cybernetyki dla zagadnień przenoszenia informacji. Zagadnienia te są przedmiotem tzw. teorii informacji (stworzonej przez Shannona), opracowanej początkowo dla techniki łączności, a obecnie stanowiącej dział cybernetyki.

Z pojęciem „informacji” każdy oswaja się w tak młodym wieku, że większości ludzi nie przychodzi nawet na myśl, iż zrozumienie tego pojęcia mogłoby nastroczać jakieś wątpliwości. A jednak sprawa nie jest bynajmniej tak prosta, jakby się mogło wydawać.

Przede wszystkim należy odróżniać „informację” od „komunikatu”. Różnicę między tymi pojęciami można zilustrować następującym przykładem: czerwone światło na skrzyżowaniu ulic informuje nas, że przejście przez ulicę jest w danej chwili zabronione; o tym samym informuje nas wyciągnięta w poprzek ręka milicjanta; równie dobrze można by nas o tym poinformować za pomocą dzwonka, napisu itp. Jak z tego wynika, tę samą informację można podać przy użyciu rozmaitych środków.

Ogólnie można powiedzieć, że jeżeli między dwoma faktami zachodzi jednocześnie określony związek, to z występowania jednego z tych faktów wynika również występowanie drugiego faktu. Komunikatem jest fakt, z którego wynika inny związany z nim fakt, informacją zaś jest wynikanie pewnego faktu z innego związanego z nim faktu.

W podanym przykładzie komunikatami są: czerwone światło, układ ręki milicjanta, dźwięk dzwonka, napis. Z każdego z tych faktów wynika, że przejście przez ulicę jest zabronione, co właśnie jest informacją zawartą w tych komunikatach. Inaczej mówiąc, komunikat jest nośnikiem informacji.

Komunikatem jest na przykład list, czyli zbiór znaków ułożonych w sposób, z którego wynikają fakty objęte treścią listu, co stanowi informacje zawarte w tym komunikacie. List przetłumaczony na inny język staje się innym komunikatem, ale zawierającym te same informacje, jeżeli przekład był wierny.

Przenoszenie informacji polega na przenoszeniu i przemianach komunikatów. Na przykład w telegraficznym przekazywaniu informacji występują kolejno następujące komunikaty: 1) tekst napisany przez nadawcę, 2) impulsy mechaniczne w aparacie telegraficznym nadawczym, 3) impulsy elektryczne w linii telegraficznej, 4) impulsy mechaniczne w aparacie telegraficznym odbiorczym, 5) tekst telegramu doręzonego odbiorcy.

Jasne jest, że otrzymanie informacji o jakimś fakcie jest możliwe, gdy istnieje komunikat, zawierający tę informację, i gdy znany jest związek między faktem, jakim jest komunikat, a faktem, którego dotyczy informacja. Na przykład o zakazie przejścia przez ulicę dowiadujemy się dzięki temu, że pojawiło się światło czerwone (komunikat) i że wiemy, co oznacza (związek między światłem czerwonym a zakazem przejścia). Podobnie proces czytania jest możliwy dzięki temu, że istnieje tekst będący zbiorem plam o rozmaitych kształtach (liter) i że znane jest znaczenie układów tych plam (wyrazów).

Przetwarzanie jednego komunikatu w drugi, przy zachowaniu tych samych informacji, jest **k o d o w a n i e m**, a przetwarzanie, stanowiące powrót do pierwotnego komunikatu jest **d e k o d o w a n i e m**. Zbiór reguł, według których odbywa się przetwarzanie komunikatów, stanowi **k o d**. Na przykład kodowaniem jest napisanie jakiegoś tekstu za pomocą alfabetu Morse'a, dekodowaniem zaś napisanie go znów za pomocą alfabetu zwykłego.

Wskutek rozmaitych zakłóceń wielokrotne przetwarzanie komunikatów może wprowadzić zniekształcenia samej informacji (co się często zdarza właśnie w korespondencji telegraficznej).

Wpływy wszelkich zjawisk ubocznych, ślady informacji postronnych itp. stanowią **s z u m i n f o r m a c y j n y**. Odgrywa on rolę tła, z którego wyodrębnienie istotnej informacji może nastręczać pewne trudności. Wiadomo na przykład, jak trudno zrozumieć przemówienie wygłaszane wśród gwaru rozmawiających ze sobą słuchaczy. Podobnie rozplywanie się atramentu na nisko-

gatunkowym papierze, kleksy itp. stanowią szum informacyjny utrudniający zrozumienie pisma.

Szum informacyjny można znacznie zmniejszyć (np. zachowując ciszę podczas przemówień, używając papieru, atramentu i piór w dobrym gatunku itp.), niepodobna go jednak usunąć całkowicie. W przypadkach nadmiernego szumu informacyjnego przeciwdziała się mu przez powtarzanie informacji, czyli dopuszcza się rozwlekłość informacji. Przykładem rozwlekłości informacji jest np. wyrażenie „w miesiącu maju” — wystarczyłoby powiedzieć „w maju”, ponieważ w słowie „maj” zawarta jest już informacja, że chodzi o miesiąc; w przykładzie tym rozwlekłość informacji jest zbędna. Natomiast w wymaganiu, żeby w pokwitowaniach, czekach itp. podawać kwotę cyframi i słownie, rozwlekłość informacji jest uzasadniona, ponieważ przy samym tylko zapisie cyfrowym niewielkie nawet zniekształcenia komunikatu mogą spowodować zniekształcenie informacji.

Rozwlekłość informacji jest przeciwieństwem „zwięzłości”. Ponieważ umysł ludzki nie może wydawać i odbierać zbyt wielu informacji w zbyt krótkim czasie, zupełna zwięzłość (czyli zupełny brak rozwlekłości) prowadzi często do niekomunikatywności informacji. Niedoświadczeni mówcy starają się mówić szybko w mniemaniu, że przerwy między grupami wyrazów i między zdaniami będą im poczytane za zmniejszoną zdolność do szybkiego wydawania informacji, podczas gdy w rzeczywistości słuchacze potrzebują tych przerw ze względu na ich własną, ograniczoną zdolność do szybkiego odbierania informacji. Z tych też przyczyn dzieci często wypełniają sobie niezbędne przerwy nieartykułowanymi dźwiękami „eee...”, dorośli zaś wtrącają rozmaite pozbawione znaczenia wyrazy, jak np. „panie dobrodzieju”, „prawda”, „nie” itp.

W procesach sterowniczych omawiane sprawy odgrywają dużą rolę. Receptory wykrywają wszystko, co znajduje się w ich zasięgu, i informują o tym sterowniki. Dopóki związki między faktami nie są wyraźne, trudno rozróżnić, co jest informacją, a co szumem informacyjnym. Rozróżnienie to staje się lepsze, gdy tę samą informację otrzymuje się za pomocą różnych komunikatów, a więc gdy dopuszcza się rozwlekłość informacji. Dlatego to autorzy podręczników i nauczyciele omawiając jakieś zagadnienie ilustrują

je przykładami, rysunkami itd., chociaż w zasadzie wystarczyłoby raz poruszyć każdą sprawę. Również przechodzenie od pojęć szczególnych do ogólnych nie jest niczym innym niż zarysowywaniem granicy między informacją a szumem informacyjnym. Na przykład objaśnienie pojęcia „dom” za pomocą demonstrowania wielu różnych domów zmierza do uwydatnienia, że informacją jest to, co wszystkie domy mają wspólnego (ściany, dach itp.), i że wszystko inne (kolor ścian, liczba okien, liczba pięter) jest nieistotne, czyli stanowi szum informacyjny, utrudniający zrozumienie samej informacji.

Jedną z najważniejszych spraw, dotyczących roli informacji w procesach sterowniczych, jest zagadnienie ilościowej oceny informacji, jako że najdokładniej można badać te zjawiska, które dają się ujmować matematycznie. W związku z tym zaszła potrzeba wprowadzenia pojęcia „ilość informacji”.

Jeżeli jakieś zjawisko może przybierać kilka możliwych stanów, to dopóki nie pojawi się informacja, że jeden z tych stanów rzeczywiście zachodzi, istnieje niepewność co do występowania poszczególnych stanów; pojawienie się informacji usuwa niepewność co do każdego z tych stanów. Na przykład nieznaną aktualnego miesiąca jest niepewnością co do 12 możliwych stanów (ponieważ każdy z 12 miesięcy roku może wchodzić w grę); otrzymanie informacji, że obecnie jest np. marzec, usuwa zarazem niepewność również co do pozostałych miesięcy, jest więc równoważne otrzymaniu 12 informacji naraz (te 12 informacji można sformułować następująco: 1 — teraz nie jest styczeń, 2 — teraz nie jest luty, 3 — teraz jest marzec, 4 — teraz nie jest kwiecień, itd. aż do 12 — teraz nie jest grudzień). A zatem można by określać informację ilościowo za pomocą liczby stanów, co do których usunięta została niepewność dzięki otrzymaniu tej informacji. Znacznie dogodniejsze jednak okazało się przedstawiać tę liczbę w postaci potęgi liczby 2 i traktować wykładnik tej potęgi (czyli logarytm liczby stanów przy podstawie 2) jako ilość informacji.

To skądinąd proste sformułowanie ilości informacji może sprawiać trudności czytelnikom nienawykłym do operowania pojęciami matematycznymi, postaramy się więc ująć sprawę nieco bardziej poglądowo. Jak wiadomo, dwa do kwadratu równa się

cztery ($2^2 = 2 \cdot 2 = 4$), dwa do sześciannu równa się osiem ($2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$), dwa do czwartej potęgi równa się szesnaście ($2^4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$) itd. Przypuśćmy, że chodzi o ustalenie, jaka jest pora roku. Otrzymanie informacji, że teraz jest lato, jest równoznaczne otrzymaniu następujących 4 informacji: 1 — teraz nie jest wiosna, 2 — teraz jest lato, 3 — teraz nie jest jesień, 4 — teraz nie jest zima. Liczbę 4 można przedstawić w postaci 2^2 , w której występuje wykładnik potęgi 2. Zgodnie z umową, że wykładnik potęgi określa ilość informacji, możemy przewidzieć, iż w przytoczonym zdaniu ilość informacji wynosi 2. W tym miejscu czytelnikowi może się nasunąć pytanie, dlaczego właśnie tak się umówiono określać ilość informacji, chociaż o wiele prościej byłoby mówić, że w informacji określającej 4 możliwe stany ilość informacji wynosi 4.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, rozpatrzmy jeszcze jeden przykład. Przypuśćmy, że chodzi o ustalenie, czy teraz jest rok nieparzysty, czy parzysty. Otrzymanie informacji, że teraz jest rok parzysty, jest równoważne otrzymaniu 2 informacji: 1) teraz nie jest rok nieparzysty, 2) teraz jest rok parzysty. Liczbę 2 można przedstawić w postaci 2^1 (dwa do potęgi pierwszej), a więc — zgodnie z umową — ilość informacji w przytoczonym zdaniu wynosi 1 (bo w postaci 2^1 wykładnikiem potęgi jest 1).

Ilość informacji równa 1 może być traktowana jako jednostka ilości informacji (podobnie jak 1 metr jest jednostką długości, 1 gram jest jednostką masy itp.). Na oznaczenie tej jednostki ilości informacji wprowadzono nazwę „bit” (wyraz skrótowy angielskiego wyrażenia „binary digit”, które znaczy „cyfra w dwójkowym układzie liczb”). Bit jest to więc ilość informacji, jaką ma informacja o występowaniu jednej z dwóch możliwości.

Wróćmy do przykładu na temat lat parzystych i nieparzystych. Aby się dowiedzieć, czy chodzi o rok parzysty, czy nieparzysty, wystarczy zadać jedno pytanie: na przykład na pytanie: „czy teraz jest rok parzysty”, otrzymujemy odpowiedź „tak”, wobec czego sprawa jest wyjaśniona. Gdybyśmy zadali pytanie: „czy teraz jest rok nieparzysty”, to otrzymalibyśmy odpowiedź „nie”, skąd również wynikałoby, że rok jest parzysty. A więc przy rozstrzyganiu, o który z dwóch możliwych stanów chodzi, wystarczy zadać tylko jedno pytanie, przy czym jest obojętne, czy

zadanie pytanie utrafia w rzeczywisty stan rzeczy, czy nie; żadaną informację otrzymamy bez względu na to, czy odpowiedź brzmi „tak”, czy „nie”.

Na tle tego przykładu staje się jasne, że zdania: „teraz nie jest rok nieparzysty” oraz „teraz jest rok parzysty”, są tylko pozornie dwiema informacjami. W istocie tylko jedna z tych informacji jest potrzebna (obojętne która); podanie nam również i drugiej informacji nie wnosi nic nowego, stanowi więc rozwlekłość informacji.

Ogólnie można więc powiedzieć, że do ustalenia, który z dwóch możliwych stanów zachodzi, potrzebna jest tylko jedna informacja (a nie dwie informacje, jak można byłoby wnosić z okoliczności, że możliwych stanów jest dwa). Właśnie wykładnik 1 (gdy przedstawić liczbę 2 możliwych stanów w postaci 2^1) oznacza, że potrzebna jest 1 informacja. Dlatego też mówimy, że informacja o występowaniu jednej z dwóch możliwości zawiera 1 bit informacji.

Otrzymanie odpowiedzi „tak” lub „nie” jest obojętne tylko wtedy, gdy chodzi o ustalenie jednego z dwóch możliwych stanów. Gdy liczba stanów jest większa niż 2, brzmienie odpowiedzi nie jest już obojętne. Możemy się o tym przekonać np. przy ustalaniu pory roku. Gdybyśmy i w tym przypadku zadali jakieś dowolnie wybrane pytanie, np. „czy teraz jest jesień”, to po otrzymaniu odpowiedzi „nie” nadal nie wiedzielibyśmy, jaka jest pora roku, tylko tyle, że liczba niepewnych stanów zmniejszyłaby się z 4 na 3. Przy zadawaniu dalszych pytań mogłoby się okazać, że trafimy dopiero za trzecim razem (gdybyśmy nie trafili i za trzecim razem, to pozostałaby już tylko czwarta możliwość, zbędne jest więc stawianie czwartego pytania). Tymczasem, postępując we właściwy sposób, możemy otrzymać żadaną informację zadając jedynie dwa pytania, i to pytania dowolnie wybrane. W tym celu podzielmy cztery pory roku na dwie grupy: ciepłe pory roku (wiosna, lato) i zimne pory roku (jesień, zima). Mamy więc ustalić jeden z dwóch stanów, a do tego, jak już wiemy, wystarczy zadać jedno pytanie, przy czym równie dobrze może to być pytanie: „czy teraz jest ciepła pora roku” (odpowiedź „tak”), jak i pytanie: „czy teraz jest zimna pora roku” (odpowiedź „nie”), jako że każda z otrzymanych odpowiedzi wskazuje na ciepłą porę roku. Może nią być wiosna lub lato, a więc znów mamy ustalić

jeden z dwóch stanów, do czego wystarcza jedno pytanie, a mianowicie „czy teraz jest wiosna” (odpowiedź „nie”) lub, czy teraz jest lato” (odpowiedź „tak”); każda z tych odpowiedzi znaczy: „teraz jest lato”.

Jak widać, do ustalenia jednego z możliwych 4 stanów potrzebne są 2 informacje. Właśnie wykładnik 2 (gdy przedstawić liczbę 4 możliwych stanów w postaci 2^2) oznacza, że potrzebne są 2 informacje. Inaczej mówiąc, informacja o występowaniu jednej z 4 możliwości zawiera 2 bity informacji.

Użyteczność omawianego sposobu określania ilości informacji jest wyraźna: do ustalenia jednej z wielu możliwości wystarczy przedstawić liczbę wszystkich możliwości w postaci liczby 2 z odpowiednim wykładnikiem potęgi, a wykładnik ten wskaże nam, na ile pytań trzeba w tym celu odpowiedzieć.

Okażemy to na przykładzie. Przypuśćmy, że w 32-kartowej talii kart chodzi o wykrycie dziewiątki pikowej. Zadając pytanie na chybił trafił, moglibyśmy w najlepszym przypadku wykryć tę kartę już za pierwszym razem, a w najgorszym przypadku dopiero za 31 razem (w razie nietrafienia za pomocą 31 pytań wiadomo byłoby, że chodzi o ostatnią 32 możliwość), przeciętnie więc trzeba byłoby się liczyć z koniecznością zadania około 16 pytań. Tymczasem znając pojęcie ilości informacji, możemy wyrazić liczbę 32 jako 2^5 (ponieważ $2^5 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 32$); wykładnik 5 wskazuje, że wystarczy otrzymać odpowiedzi na 5 pytań, postępując w następujący sposób. Dzielimy całą talię kart na dwie grupy: czerwone (karo, kier) i czarne (trefl, pik), i pytamy o jedną z tych grup, obojętnie o którą, np. „czy to jest czarna karta” (odpowiedź „tak”). Z kolei dzielimy czarne karty na dwie grupy: trefle i piki, i zadajemy drugie pytanie: „czy to jest trefl”, na co otrzymujemy odpowiedź „nie”, z której wnosimy, że chodzi o kartę pikową (na pytanie: „czy to jest »pik«”, odpowiedź „tak” dałaby nam tę samą informację). Następnie dzielimy karty pikowe na dwie grupy: figury (as, król, dama, walet) i blotki (dziesiątka, dziewiątka, ósemka, siódemka), i zadajemy trzecie pytanie, np. „czy to jest figura”; odpowiedź „nie” orientuje nas, że chodzi o blotkę. Wobec tego dzielimy blotki na dwie grupy: starsze (dziesiątka, dziewiątka) i młodsze (ósemka, siódemka), i zadajemy czwarte pytanie, np. „czy to jest starsza blotka”, na

co otrzymujemy odpowiedź „tak”. I wreszcie dzielimy starsze blotki na dwie grupy: dziesiątka i dziewiątka, i zadajemy ostatnie, piąte pytanie, „czy to jest dziesiątka”; z odpowiedzi „nie” wynika, że szukaną kartą jest dziewiątka pikowa.

A więc istotnie znaleźliśmy szukaną kartę za pomocą 5 pytań. Odpowiedź na każde z tych pytań zawierała 1 bit informacji, wobec czego ilość informacji zawarta w zdaniu „to jest dziewiątka pikowa” wynosi 5 bitów.

Po tych wyjaśnieniach można powiedzieć ogólnie, że ilość informacji jest to liczba odpowiedzi „tak” lub „nie”, niezbędna do usunięcia niepewności co do występowania każdej z wielu możliwości.

Omawiany sposób traktowania informacji ma szczególnie doniosłe znaczenie w działaniu *m a s z y n m a t e m a t y c z n y c h*, zwanych potocznie „mózgami elektronowymi”. Działanie tych maszyn jest oparte nie na powszechnie znanym dziesiętnym układzie liczb, lecz na dwójkowym ich układzie. Być może — po zapoznaniu się z pojęciem ilości informacji — czytelnik domyśla się już, dlaczego tak jest, niemniej objaśnimy to szczegółowo.

Jak wiadomo, w dziesiętnym układzie liczb uważa się, że ostatnia cyfra oznacza liczbę jedynek (czyli dziesiątek w potęgze 0), przedostatnia cyfra — liczbę dziesiątek (czyli dziesiątek w potęgze 1), trzecia cyfra od końca — liczbę setek (czyli dziesiątek w potęgze 2), następna cyfra — liczbę tysięcy (czyli dziesiątek w potęgze 3) itd. Na przykład: zapis liczby

237

znaczy tyleż, co

$$200 + 30 + 7$$

czyli

$$2 \cdot 100 + 3 \cdot 10 + 7 \cdot 1$$

lub

$$2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0$$

Jak widać, w dziesiętnym układzie liczb istotne jest to, że występuje w nim liczba 10 w rozmaitych potęgach. Dziesiętny układ liczb nie wyróżnia się niczym szczególnym — liczba 10 została niegdyś obrana za podstawę tylko dlatego, że pierwotnie rachowano za pomocą dziesięciu palców rąk. Równie dobrze można byłoby przyjąć za podstawę jakąkolwiek inną liczbę, np. 9 lub 14.

Szczególne znaczenie uzyskał dwójkowy układ liczb, czyli układ, w którym występuje liczba 2 w rozmaitych potęgach. W układzie tym liczba, której zapis w układzie dziesiętnym przedstawia się jako 237, ma postać

$$11101101$$

Istotnie bowiem zapis ten w układzie dwójkowym znaczy tyleż, co w układzie dziesiętnym suma

$$1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

czyli

$$128 + 64 + 32 + 8 + 4 + 1 = 237$$

W odróżnieniu od układu dziesiętnego, wymagającego dziesięciu cyfr (od 0 do 9), dwójkowy układ liczb wymaga jedynie dwóch cyfr (0 i 1). Stanowi to jego poważną zaletę z punktu widzenia teorii informacji, ponieważ rozróżnienie między cyframi 1 i 0 można traktować tak samo jak rozróżnienie między dwoma możliwymi stanami (np. „tak” i „nie”, „jest” i „nie ma”, „zamknięte” i „otwarte”, itp.). W szczególności dwójkowy układ liczb umożliwił konstruowanie maszyn cybernetycznych z wykorzystaniem zjawisk przepływu prądu elektrycznego (stan, gdy prąd płynie, można uważać za cyfrę 1, a stan, gdy prąd nie płynie, za cyfrę 0).

Każda cyfra w zapisie liczby w układzie dwójkowym stanowi odpowiedź na pytanie, który z dwóch możliwych stanów zachodzi (stan 1 czy stan 0), zawiera więc jeden bit informacji. Wobec tego liczba wielocyfrowa w układzie dwójkowym zawiera tyle bitów informacji, z ilu cyfr składa się ta liczba (np. liczba 11101101, jako ośmiocyfrowa, zawiera ilość informacji 8 bitów).

Dzięki temu można przedstawić informacje w postaci liczb. Na przykład jeśli w przytoczonym poprzednio przykładzie, dotyczącym talii złożonej z 32 kart, przyjąć oznaczenia:

1 — kolor czarny

0 — kolor czerwony

1 — karo lub trefl

0 — kier lub pik

1 — figura

0 — blotka

1 — starsza figura (as, król) lub starsza blotka (dziesiątka, dziewiątka)

0 — młodsza figura (dama, walet) lub młodsza blotka (ósemka, siódemka)

1 — as lub dama, lub dziesiątka, lub ósemka

0 — król lub walet, lub dziewiątka, lub siódemka,

to dziewiątka pikowa będzie określona — liczbą 10010. W takim ujęciu można określić za pomocą liczb wszelkie inne karty, np. walet treflowy wyrazi się liczbą 11100.

Gdyby przyjąć np. oznaczenia:

1 — kobieta

0 — mężczyzna

1 — ciemnowłosa

0 — jasnowłosa

1 — ładny

0 — brzydki,

to informacja: „ładna blondynka” wyraziłaby się liczbą 101.

IV. Rejestracja

Jak wiadomo, organizmy żywe są obdarzone pamięcią, skoro więc dopatrywanie się podobieństw między organizmami i maszynami należy do podstaw cybernetyki, to z konieczności do problematyki cybernetycznej należy zagadnienie, w jakim stopniu maszyny mogą mieć zdolność „pamiętania”. W związku z tym omówimy bliżej pojęcie rejestracji, czyli utrwalania informacji.

Przypuśćmy, iż w pewnym zjawisku występują dwa fakty, a mianowicie pewien fakt A i pewien fakt B, tak ze sobą powiązane, że fakt A zawsze wywołuje fakt B i że fakt B może być wywołany jedynie przez fakt A. Wówczas stwierdzenie, że występuje fakt B, jest zarazem stwierdzeniem występowania faktu A, a więc występowanie faktu B jest informacją o wystąpieniu faktu A. Informację tę będziemy mogli otrzymywać tak długo, jak długo trwa fakt B, chociażby fakt A był faktem krótkotrwałym; fakt B stanowi rejestrację tej informacji. Na przykład jeżeli w górskim terenie jedynymi ruchomymi przedmiotami mogą być spadające kamienie, to stwierdzenie, że na powierzchni jakiejś skały powstał ślad uderzenia, jest równoznaczne z otrzymaniem informacji o spadnięciu jakiegoś kamienia; ślad ten stanowi rejestrację

spadnięcia kamienia. Informacje te możemy otrzymać w dowolnej chwili, dopóki ślad nie ulegnie zatarciu. Bywają też fakty stanowiące krótkotrwałą rejestrację innych faktów. Na przykład wahania gałązki, potrąconej skrzydłem ptaka, stanowią rejestrację informacji o tym, że przeleciał ptak, ale informację tę mogliśmy otrzymywać tylko przez krótki czas, dopóki wahania te nie znikną. Stany bardzo długotrwałe mogą stanowić rejestrację nawet takich faktów, które wystąpiły bardzo dawno. Dzięki temu archeologowie mogą rozpoznawać wydarzenia, które odbyły się przed wieloma tysiącami lat. W omawianych przykładach mamy do czynienia z informacjami o przeszłości.

Jednakże o ile fakt *B* jest informacją o tym, że fakt *A* już wystąpił, to fakt *A* jest informacją o tym, że fakt *B* dopiero wystąpi. Na przykład rzucając kamień w wodę wiemy, że za chwilę rozlegnie się odgłos uderzenia kamienia o powierzchnię wody; gdy drwale rąbią pień drzewa, wiadomo, że wkrótce drzewo się obali. Na takiej zasadzie astronomowie przewidują np. zaćmienie słońca na wiele lat naprzód. W tych przypadkach mamy do czynienia z informacjami o przyszłości.

Może wchodzić również w grę przypadek, gdy jakieś dwa fakty *A* i *B* zawsze sobie towarzyszą. Wówczas stwierdzenie, że jeden z tych faktów występuje, jest informacją, iż występuje również drugi fakt. Na przykład płomień jest informacją o występowaniu wysokiej temperatury. Na tej zasadzie lekarze z zewnętrznych objawów wnoszą o stanie wewnętrznych organów chorego. Mamy do czynienia z informacjami o teraźniejszości.

Przy omawianiu powyższych przypadków zastrzegaliśmy się, że fakty *A* i *B* są ze sobą ściśle powiązane. Tylko przy spełnieniu tego warunku można mieć pewność, że jakiś fakt jest informacją o innym fakcie.

Przypuśćmy jednak, że w jakimś zjawisku mogą występować trzy fakty *A*, *B* i *C*, przy czym fakt *C* może być wywołany równie dobrze przez fakt *A*, jak i przez fakt *B*. Wówczas z występowania faktu *C* możemy wnosić o występowaniu faktu *A* lub faktu *B* lub też obu tych faktów naraz, nie wiemy jednak, która z tych trzech możliwości wchodzi w grę. Jeżeli zjawiska tego rodzaju obserwowaliśmy wielokrotnie, przy czym okazało się, że fakt *C* był wywoływany przeważnie przez fakt *A*, a tylko niekiedy przez fakt *B*,

to za następnym razem jesteśmy skłonni przypuszczać, iż fakt C został wywołany przez fakt A, nie mamy jednak co do tego pewności, a kierujemy się jedynie dość dużym prawdopodobieństwem. Na przykład w okresie epidemii lekarz badający chorego jest skłonny przypuszczać, że ma do czynienia z jednym więcej przypadkiem szerzącej się właśnie choroby, jeżeli stwierdził typowe jej objawy, chociaż w danym przypadku mogłyby wchodzić w grę inne przyczyny. Z nadciągania dużej chmury wnosimy, że będzie padał deszcz, chociaż może się okazać, że wiatr skieruje chmurę w inną stronę.

Faktów odosobnionych nie ma; każdy fakt jest w mniejszym czy większym stopniu powiązany z innymi faktami przeszłymi, współczesnymi i przyszłymi, stanowiąc zarazem rejestrację informacji o tych faktach. Nie ma więc trudności w zarejestrowaniu informacji — przeciwnie, rejestracji żadnego faktu nie można nawet uniknąć. Istotne jest natomiast, jak długo trwa informacja w stanie zarejestrowania. Ogólnie można powiedzieć, że zależy nam, ażeby szum informacyjny wcale nie został zarejestrowany, natomiast informacje powinny przetrwać w stanie zarejestrowanym, dopóki są potrzebne, czyli dopóki nie zacznie się ich zaliczać do szumu informacyjnego. Na przykład zależy nam na zapamiętaniu numeru telefonicznego osoby, z którą łączą nas rozmaite sprawy, a staramy się zapomnieć numery telefoniczne, które są nam już niepotrzebne, wobec czego pamiętanie ich byłoby dla nas rejestracją szumu informacyjnego. Inną istotną trudnością jest wspomniana powyżej okoliczność, że przy powiązaniu wielu faktów między sobą nie wiemy, który z możliwych związków wchodzi w grę, czyli nie umiemy informacji dokładnie odczytać, chociaż została zarejestrowana. Nie mając pewności wiążemy zarejestrowany fakt z różnymi innymi faktami, opierając się jedynie na większym czy mniejszym prawdopodobieństwie takich związków.

Zdolność organizmu do kierowania własnym postępowaniem zależy od jego zdolności do rejestrowania informacji. Przypuśćmy, że pewien fakt A stanowi informację o pewnym fakcie B, a jakiś inny fakt C stanowi informację o fakcie D, przy czym fakt B jest dla tego organizmu pomyślniejszy niż fakt D. W tym przypadku znajomość faktów A i C jest dla organizmu bardzo cenna,

dzięki niej bowiem może on sterować się w sposób sprzyjający wystąpieniu pomyślniejszego faktu *B*. Mamy tu więc sytuację, w której organizm dokonywa wyboru między faktami przyszłymi na podstawie faktów teraźniejszych. Jeżeli nie istnieje pewność, że z faktu *A* wyniknie fakt *B*, a z faktu *C* wyniknie fakt *D*, a tylko istnieją pewne stopnie prawdopodobieństwa, to sterowanie się organizmu na podstawie faktów *A* i *C* będzie stanowić tylko mniej lub więcej dokładne przewidywanie. Na przykład jeżeli wygląd (*A*) jakiegoś towaru (*B*) jest ładniejszy od wyglądu (*C*) podobnego towaru (*D*), to na podstawie porównania wyglądu (*A* i *C*) jesteśmy skłonni przypuszczać, że pierwszy z tych towarów (*B*) jest lepszy od drugiego (*D*).

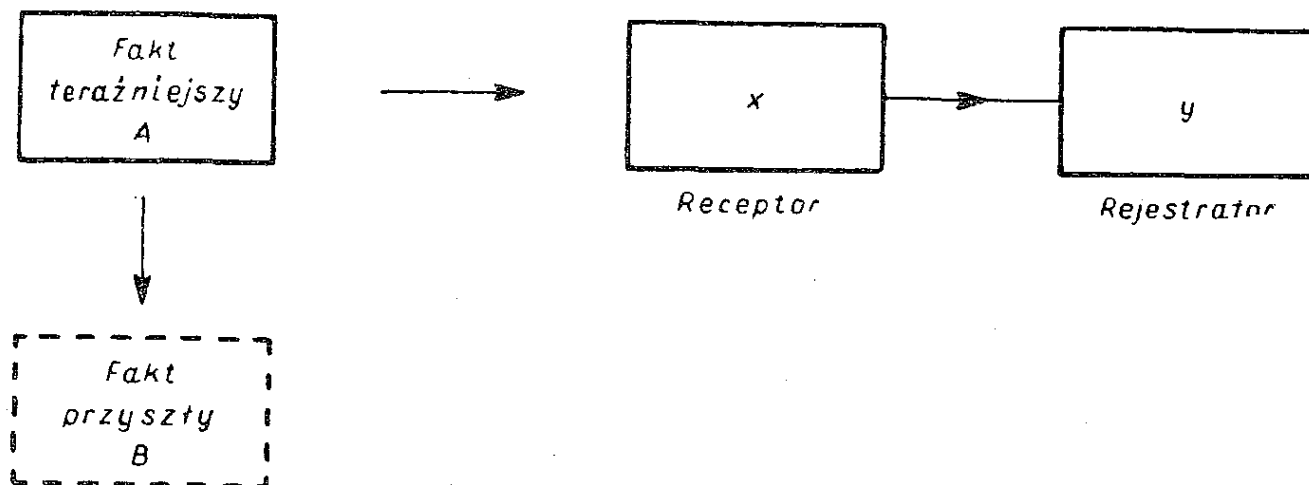
Do sterowania związanego z wyborem różnych możliwości konieczne jest, żeby informacje zostały zarejestrowane nie w dowolnym miejscu, lecz tam, gdzie mogą one być porównywane i ocenione. Używając terminologii cybernetycznej możemy powiedzieć, że informacje powinny być zarejestrowane nie w receptorach, lecz w sterowniku, jako że w nim odbywa się ocena informacji. Zarejestrowania informacji w receptorach nie można wprawdzie uniknąć, ale jest ono w nich niepotrzebne, a bywa nawet szkodliwe. Na przykład zdarza się, że manipulując ostrym przedmiotem kałeczymy się, wcale tego nie spostrzegłszy. Skaleczenie jest rejestracją dość trwałą, ale w danym przypadku bezwartościową (nie mówiąc już o jego szkodliwości), skoro bowiem nie zostało przez nas zauważone, to nie ma ono wpływu na nasze postępowanie. Natomiast lekkie nawet dotknięcie, ale spostrzeżone, stanowiłoby ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem. Organizm więc może się odpowiednio sterować, gdy rejestracja informacji odbywa się w mózgu, a nie w narządach zmysłów.

Podobnie przedstawia się sprawa w sterowaniu się społeczności. Gdyby wyznaczeni do tego sprawozdawcy zanotowali poczynione obserwacje, zachowując zapisy tylko dla siebie, to z takiej rejestracji społeczność nie odniosłaby żadnej korzyści. Powinny one być dostarczone kierownictwu, które na ich podstawie może podjąć odpowiednie decyzje.

Również maszyna, mająca dokonywać wyboru wśród różnych możliwości dalszego swojego zachowania się, musi być wyposażona w rejestrator, w którym odbywa się rejestrowanie informacji od-

bieranych przez receptory tej maszyny. Rejestrator stanowi część sterownika, porównującego zarejestrowane informacje i dokonującego wyboru czynności, jakie mogą być wykonane przez efektory.

Omawiany proces można przedstawić schematycznie na rys. 8. W pobliżu receptora zaszedł fakt A poprzedzający fakt B . Pod wpływem faktu A zaszła w receptorze zmiana, którą oznaczymy jako fakt x . Z kolei pod wpływem faktu x zaszła w rejestratorze pewna zmiana, którą oznaczymy jako fakt y . Można więc uważać,



Rys. 8. Przenoszenie i rejestracja informacji

że fakt y jest informacją o zajściu faktu A , jak również że fakt y jest informacją o zajściu faktu x . Wobec tego można powiedzieć, że fakt y jest informacją o zajściu faktu A . Ponieważ jednak fakt A jest informacją, że zajdzie fakt B , więc fakt y jest również informacją, że zajdzie fakt B . Dzięki temu sterownik może zdecydować o takim zachowaniu się efektora, jakie jest potrzebne wobec mającego nastąpić faktu B . Na przykład zapalenie się firanki (A) mogące spowodować pożar mieszkania (B) wywołuje spostrzeżenie wzrokowe (x), które zostaje zarejestrowane w mózgu jako odpowiednie wrażenie (y); wrażenie to jest informacją o mogącym nastąpić pożarze, któremu dzięki tej informacji możemy zapobiec.

Rozumowanie powyższe jest uproszczone o tyle, że związek między faktami A i B polega na istnieniu wielu faktów pośrednich, podobnie zresztą jak związek między faktami A i x oraz x i y . Fakty pośrednie wyłączyliśmy z rozumowania jako nie wnoszące nic istotnego; podobnie wystarczy określić przejazd pociągu, podając tylko, skąd wyruszył i dokąd przybył, ponieważ wiadomo, że musiał znajdować się we wszystkich innych punktach

przebytej drogi. To, co nazywamy związkiem między wyodrębnionymi faktami, jest w istocie ciągiem przemian zachodzących w czasie i przestrzeni lub, inaczej mówiąc, ciągiem komunikatów. Na przemianach takich polega przenoszenie informacji od receptora do rejestratora; przemiany te stanowią zarazem rejestrację informacji na całej drodze od receptora do rejestratora, przy czym dla procesu sterowania ma znaczenie jedynie rejestracja w samym rejestratorze.

Rzecz jasna, sterownik może dokonywać wyboru postępowania (zachowania się efektorów) na podstawie informacji (y) o mających nastąpić faktach (B), jeżeli informacje stanowiące podstawę wyboru są zarejestrowane przez oddzielne elementy rejestracyjne. Gdyby rejestrator zawierał tylko jeden element rejestracyjny, to porównywanie dwóch kolejnych informacji byłoby niemożliwe, ponieważ rejestracja drugiej informacji zniósłaby rejestrację pierwszej. Rozróżnialność zarejestrowanych informacji byłaby najlepsza, gdyby każda informacja była przenoszona do osobnego elementu rejestracyjnego. Jeśli przy tym wziąć pod uwagę, że każde zdarzenie jest zbiorem wielu faktów elementarnych i wobec tego wymaga wielu elementów rejestracyjnych, to staje się oczywiste, że sterowanie jest tym skuteczniejsze, im więcej elementów rejestracyjnych zawiera rejestrator.

Na podstawie jednorazowej rejestracji zbioru wielu faktów niepodobna określić, jakie związki zachodzą między poszczególnymi faktami. Dopiero wielokrotna rejestracja podobnych zdarzeń pozwala stwierdzić, że pewne związki występują rzadziej, inne częściej, a niektóre związki mogą występować we wszystkich przypadkach. Im częściej rejestracja jakiejś informacji y o fakcie A_1 towarzyszy rejestracji informacji y_2 o fakcie A_2 , tym większe jest prawdopodobieństwo, że istnieje związek między faktami A_1 i A_2 . Na tej zasadzie odbywa się kojarzenie i kształtowanie pojęć, czyli, krótko mówiąc, uczenie się.

V. Maszyny cybernetyczne

Za maszyny cybernetyczne szeroki ogół jest skłonny uważać maszyny matematyczne, do czego przyczynia się niewątpliwie nazywanie tych maszyn „mózgami elektronowymi”; nazwa ta

nasuwa przypuszczenie, że działanie tych maszyn jest jakimś odpowiednikiem ludzkiego myślenia.

Zgodnie z definicją cybernetyki za maszyny cybernetyczne należałoby uważać urządzenia techniczne, które mogą się same sterować, czyli urządzenia s a m o s t e r o w n e. Pogląd ten wymaga jednak pewnego uściślenia. Już na wiele lat przed pojawieniem się cybernetyki znany był regulator prędkości obrotowej silników parowych, a po nim wynaleziono i zastosowano wiele innych urządzeń do samoczynnej regulacji temperatury, ciśnienia, wilgotności itp. Pomimo samoczynności tego rodzaju urządzeń sterowniczych nie uważa się ich za maszyny cybernetyczne, ponieważ są one jedynie częścią składową innych maszyn. Także i samych maszyn wyposażonych w regulatory nie zalicza się do kategorii maszyn cybernetycznych, gdyż jakkolwiek są one pod pewnymi względami samosterowne, to jednak nie procesy sterownicze są ich zadaniem, lecz procesy przemiany energii i materiałów. Na przykład zadaniem wspomnianego wyżej silnika parowego jest przetwarzanie energii przepływu pary wodnej w energię ruchu obrotowego, przy czym proces sterowniczy polegający na samoczynnej regulacji prędkości obrotowej odgrywa jedynie rolę pomocniczą.

A zatem ściślej byłoby mówić, że maszyny cybernetyczne są to urządzenia techniczne, w których działaniu istotną rolę odgrywają samoczynne procesy sterownicze. Ponieważ procesy sterownicze są ściśle związane z przekazywaniem informacji, więc do maszyn cybernetycznych należy zaliczyć wszelkie urządzenia samosterowne, których zadaniem jest przetwarzanie informacji. Jeśli wziąć pod uwagę, że i w działaniu organizmów istotną rolę odgrywają samoczynne procesy sterownicze, a w szczególności przetwarzanie informacji, to jasne staje się znaczenie, jakie w cybernetyce ma dopatrywanie się podobieństw działania maszyn i organizmów.

Wybitnie rozwiniętymi zdolnościami do przetwarzania informacji odznacza się organizm ludzki, stąd też pochodzi skłonność do uważania wszelkiego działania maszyn, wykazującego podobieństwo do pracy umysłowej człowieka, za wchodzące w zakres cybernetyki. Z faktu, że maszyna matematyczna potrafi np. obliczyć sumę kilku liczb, a człowiek — jak wiadomo — potrafi to

również, łatwo jest o przypuszczenie, że maszyna matematyczna jest jakimś odpowiednikiem mózgu ludzkiego, czyli „maszyną myślącą”, „sztucznym mózgiem”. Postaramy się wyjaśnić, na czym polega powierzchowność tego rodzaju poglądów.

W celu zmechanizowania działań rachunkowych budowane są od dawna rozmaite przyrządy, jak np. suwaki logarytmiczne używane do obliczeń technicznych, sklepowe kasy rejestracyjne, arytmometry itp. Wszystkie przyrządy tego rodzaju wymagają manipulacji ze strony używającego ich człowieka, np. przesuwania suwaka, kręcenia korbką itp. Z czasem zaczęto budować maszyny do liczenia o napędzie elektrycznym, obecnie stosowane w biurach większych instytucji. Sposób działania tych maszyn zasługuje na bliższą uwagę. Przypuśćmy, że chodzi o obliczenie sumy liczb 25 i 39. Człowiek obsługujący elektryczną maszynę do liczenia naciska najpierw przyciski odpowiadające liczbom 25 i 39, następnie przycisk oznaczający dodawanie i na koniec przycisk uruchamiający silnik elektryczny. Obracanie się silnika spowoduje odpowiednie przesunięcie ruchomych części maszyny, po czym obsługujący będzie mógł odczytać liczbę 64 jako wynik dodawania. Jak widać, silnik elektryczny odgrywa tu jedynie rolę źródła energii mechanicznej, natomiast czynności sterownicze są wykonywane przez człowieka (jedynym samoczynnym procesem sterowniczym maszyny jest zatrzymanie się silnika bez udziału człowieka). Czy można powiedzieć, że to maszyna rozwiązała zadanie? Rzecz jasna, z faktu, że człowiek może wykonać dodawanie $25 + 39 = 64$ sam lub za pomocą maszyny, nie wynika bynajmniej, iż w tym drugim przypadku maszyna zastąpiła człowieka, podobnie jak z faktu, że człowiek może zerwać jabłko z drzewa ręką lub strącić je kijem, nie wynika, iż kij zastąpił człowieka. A zatem istotna jest nie alternatywa „człowiek lub maszyna”, lecz alternatywa „człowiek sam lub człowiek z maszyną”. Jest oczywiste, że elektryczne maszyny do liczenia nie są maszynami cybernetycznymi, i zresztą nikt ich tak nie nazywa.

Z tych samych jednak powodów nie są maszynami cybernetycznymi elektroniczne maszyny matematyczne, ponieważ, w zasadzie różnią się one od zwykłych maszyn do liczenia tylko tym, że zamiast mechanicznych elementów konstrukcyjnych, jak np. wałki, kółka zębate itp., stosuje się w nich lampy elektronowe.

Maszyny matematyczne mają jednak pewne właściwości interesujące dla cybernetyki. Po pierwsze — dzięki bardzo małej (bezwładności działania lamp elektronowych — maszyny matematyczne wykonują operacje rachunkowe z niezwykłą szybkością, znacznie przekraczają możliwości mózgu ludzkiego (co właśnie skłania do porównań z mózgiem). Po drugie, łatwo jest w tych maszynach o rejestrację danych liczbowych i jej likwidację, gdy dane te są już niepotrzebne (w czym narzuca się analogia do funkcji pamięci ludzkiej, tj. do zapamiętywania i zapomniania informacji). Po trzecie, maszyny matematyczne mogą zawierać wiele lamp elektronowych, co umożliwia rejestrowanie wielu danych liczbowych naraz (analogia do znacznej pojemności pamięci ludzkiej). I po czwarte, maszyny te są szczególnie przydatne do działań rachunkowych opartych na dwójkowym układzie liczb, a jak już wiemy, układ ten pozwala na przedstawienie informacji w postaci liczb (nasuwa to skojarzenie z pracą układu nerwowego mózgu, w którym wrażenia powstają na podobnej zasadzie, a mianowicie każdy neuron może być albo pobudzony, albo nie pobudzony, czyli przybierać jeden z dwóch możliwych stanów, bez stanów pośrednich).

Ze względu na powyższe właściwości strukturę maszyn matematycznych wykorzystuje się w wielu urządzeniach cybernetycznych. Maszyna matematyczna staje się maszyną cybernetyczną, gdy w odpowiednio dużym stopniu zapewniamy jej samostero-wność.

Różnicę między maszynami cybernetycznymi a wszystkimi innymi maszynami (włącznie z maszynami matematycznymi) zilustrujemy następującym przykładem poglądowym. Jeśli pracownik jakiejś instytucji otrzymał polecenie zakupienia określonego towaru w określonym sklepie, to zadanie pracownika jest czysto wykonawczego charakteru. Gdyby jednak pracownikowi temu polecono dokonać zakupu w źródle najtańszym, to zadanie jego zmieniłoby się w sposób zasadniczy. Aby je wykonać, musiałby on: 1) sprawdzić ceny we wszystkich sklepach, 2) porównać je w celu stwierdzenia, w którym sklepie cena jest najniższa, i w nim właśnie dokonać zakupu. W pierwszym z przytoczonych przypadków można podyktować wykonawcy ściśle określone postępowanie, w drugim zaś trzeba się ograniczać do określenia

jedynie sposobu postępowania, ponieważ nie można przewidzieć, co z tego postępowania wyniknie (w którym sklepie zakup zostanie dokonany). W odróżnieniu od maszyn wykonujących ściśle określone czynności, dające się przewidzieć przez jej konstruktora czy użytkownika, w maszynach cybernetycznych znane są tylko kryteria ich działania.

Łatwo zauważyć, że konieczność ograniczenia poleceń tylko do podania sposobu postępowania występuje wtedy, gdy rozkazodawca nie dysponuje wszystkimi potrzebnymi informacjami; dlatego właśnie poleca on wykonawcy zdobyć brakujące informacje i uzależnić od nich dalsze postępowanie. Istotą maszyn cybernetycznych jest to, że działanie ich jest uzależnione od zdobywania przez nie informacji, i w tym dopiero przejawia się podobieństwo działania maszyn do czynności mózgu.

Kolejność czynności narzucona maszynie cybernetycznej przez jej użytkownika nosi nazwę programu; ustalenie tej kolejności nazywa się programowaniem. Zbiór reguł, według których poszczególne czynności mają się odbywać, jest to tzw. algorytm. Na przykład jeżeli zadaniem maszyny cybernetycznej jest znalezienie możliwie najniższego kosztu produkcji jednego kilograma jakiegoś materiału, to program działania maszyny może obejmować następujące czynności: 1) określenie różnych możliwych ilości materiału wyprodukowanego w określonym czasie, 2) określenie różnych nakładów pieniężnych na wyprodukowanie odpowiadających im ilości materiału, 3) określenie kosztu produkcji jednego kilograma tego materiału, czyli określenie ilorazu nakładów przez ilości materiału w poszczególnych przypadkach, 4) porównanie kosztów produkcji i znalezienie kosztu najniższego. Natomiast reguły, według których ma się odbywać np. w p. 3 dzielenie liczb wyrażających koszt produkcji przez liczby wyrażające ilość materiału, należą do algorytmu, który dla tego procesu musi być uprzednio opracowany.

W maszynach matematycznych program i algorytm pozwalają przewidzieć przebieg wszystkich operacji maszyny dzięki temu, że maszyna otrzymuje wszystkie potrzebne informacje od sterującego ją człowieka (na sterowaniu polega właśnie udzielanie informacji maszynie). Z takiego przewidywania rezygnuje się, ponieważ zajęłoby ono człowiekowi znacznie więcej czasu, niż go

potrzebuje maszyna na wykonanie wszystkich operacji — w tym tkwi sens stosowania maszyn matematycznych.

Natomiast maszyna cybernetyczna otrzymuje od sterującego ją człowieka informacje niekompletne, a ponieważ brakujące informacje są człowiekowi nie znane, więc i przebiegu działania maszyny nie można przewidzieć. Dzięki programowi wiadomo tylko, do czego maszyna będzie dążyć w poszczególnych stadiach swojego działania, a dzięki algorytmowi, jak to dążenie maszyna będzie realizować.

Możliwe jest również budowanie maszyn cybernetycznych, które odpowiednio do zdobywania informacji (nie dostarczonych przez sterującego ją człowieka) same zmieniają sobie program; są to m a s z y n y s a m o p r o g r a m u j ą c e. Na przykład jeżeli maszyna ma znaleźć najkorzystniejszy przebieg jakiegoś wielokrotnie odbywającego się procesu, to za pierwszym razem maszyna sprawdza i rejestruje wszystkie możliwe przebiegi, a po znalezieniu przebiegu najkorzystniejszego utrzymuje go w stanie zarejestrowanym, likwidując rejestrację wszystkich pozostałych, mniej korzystnych przebiegów. Za każdym razem maszyna działa już tylko według zarejestrowanego najkorzystniejszego przebiegu (a więc według zmienionego przez nią samej programu). Można powiedzieć, że maszyna nauczyła się właściwego działania na podstawie początkowych doświadczeń.

Jako ilustrację takiego sposobu działania maszyny cybernetycznej można przytoczyć tzw. „mysz Shannona”, która po wpuszczeniu jej do odpowiednio skonstruowanego labiryntu szuka wyznaczonego jej celu, sprawdzając kolejno wszystkie odgałęzienia, ale za następnym razem znajduje właściwą drogę bezbłędnie. „Mysz” jest kawałkiem stali ukształtowanym na podobieństwo myszy, posuwającym się skokami odpowiednio do ruchów magnesu ukrytego pod spodem labiryntu. Po dojściu do takiego miejsca, w którym droga rozgałęzia się, „mysz” wchodzi w pierwsze z brzegu rozgałęzienie; jeżeli okaże się, że jest ono bez wyjścia, „mysz” wraca do miejsca rozgałęzienia, a następnie wchodzi w następne odgałęzienie, aż natrafi na właściwą drogę. Powtarza się to w każdym następnym miejscu rozgałęzienia. Wszystkie ruchy „myszy” są rejestrowane w maszynie matematycznej (ruchy trafne jako 1, nietrafne jako 0), wchodzącej w skład opisywa-

nego urządzenia cybernetycznego; po dojściu „myszy” do celu maszyna usuwa rejestrację ruchów nietrafnych, pozostawiając tylko drogę właściwą, której „mysz” będzie się trzymać przy powtórnych przebiegach. Odpowiada to zachowaniu się zwierząt rzeczywistych, które w podobny sposób uczą się rozpoznawać właściwą drogę.

Omawiana właściwość „uczenia się” maszyn cybernetycznych umożliwia budowanie urządzeń przemysłowych, zdolnych do wyszukiwania najkorzystniejszego przebiegu procesów technologicznych.

W przykładzie z „myszą Shannona” zdobywanie brakujących informacji przez maszynę polegało na systematycznym sprawdzaniu jednej możliwości po drugiej. Podobnie postępuje np. człowiek szukający określonej książki w księgozbiorze: sprawdza tytuły jednej książki po drugiej, aż natrafi na właściwą. Postępowanie takie jest bardzo mozolne, toteż stosuje się je tylko wtedy, gdy nietrafne postępowanie nie wywołuje żadnych zmian mogących stanowić informację o nietrafności tego postępowania (np. ze stwierdzenia, że wzięta z półki książka nie jest tą, której szukamy, nie wynika, czy zbliżamy się do książki szukanej, czy się od niej oddalamy).

Poszukiwanie brakujących informacji upraszcza się, gdy trafność lub nietrafność jakiejś czynności ujawnia się wskutek jej wykonania. W tych przypadkach można zastosować postępowanie oparte na tzw. „metodzie prób i błędów”. Polega ono na tym, że w braku wskazówek co do właściwego postępowania wykonuje się jakąkolwiek czynność i sprawdza jej skutek. Jeżeli wywołuje ona skutek pożądaný, to postępuje się nadal po tej samej drodze, a jeżeli niepożądany, to próbuje się jakiegokolwiek innej drogi. Na tej metodzie postępowania opiera się dziecięca zabawa w „ciepło i zimno”, rozgrywanie partii szachów przez niedoświadczonych szachistów, dobieranie tematów rozmowy z mało znanymi osobami oraz wszelkie działanie wybierane w zależności od tego, czy poprzednie działanie okazało się zachęcające, czy nie. Metoda ta jest szczególnie obiecująca dla dalszego rozwoju maszyn cybernetycznych, jako że każda czynność maszyny dostarcza jej 1 bit informacji, usuwając niepewność co do tego, który z dwóch możliwych stanów występuje: „dobry” (cyfra 1) czy „zły” (cy-

fra 0). Rejestrując skutki poszczególnych swoich czynności w postaci cyfr 1 i 0, maszyna może doszukiwać się, co miały wspólnego czynności, które wywołały skutki pożądane (oznaczone cyfrą 1), i na tej podstawie modyfikować program dalszego działania. Maszyna cybernetyczna tego rodzaju jest więc początkowo pozbawiona informacji, a brakujące informacje może zdobywać zdając się na przypadek; początkowy (tj. opracowany przez człowieka) program takiej maszyny obejmuje jedynie kryteria oceny, jakie skutki swojego zachowania się powinna ona rejestrować jako „dobre” czy „złe”; w dalszym postępowaniu maszyna będzie sama udoskonalać swój program.

Uderzające jest podobieństwo działania takich maszyn cybernetycznych do zachowania się organizmu z biegiem życia — początkowo organizm również nie ma żadnych informacji o otaczającym go świecie, a jedyne kryterium jego postępowania wynika ze zdolności do odróżniania przyjemności od przykrości, zwanej instynktem samozachowawczym; dopiero w miarę zdobywania doświadczeń i wynikających stąd informacji organizm modyfikuje kryteria swojego postępowania.

W następnych rozdziałach opiszemy charakterystyczne przykłady maszyn cybernetycznych.

1. Cybernetyczne modele organizmów

Duży rozgłos uzyskały modele cybernetyczne organizmów znane pod nazwą „sztucznych zwierząt”, budowane dla odwzorowania zachowania się organizmów pod pewnymi wyodrębnionymi względami (na przykład wspomniana powyżej „mysz Shannona” została zbudowana dla odwzorowania w sposób uproszczony zdolności do uczenia się).

Jednym z pierwszych modeli cybernetycznych tego rodzaju była tzw. „ćma Wienera”, której „głowa” wyposażona w dwie komórki fotoelektryczne, spełniające rolę oczu, zwraca się sama w kierunku poruszającego się źródła światła.

Do najgłośniejszych modeli cybernetycznych należą „żółwie Grey Waltera”. „Żółw” jest mechanizmem mającym postać bardzo małego pojazdu na trzech kółkach, mogącego zmieniać własną prędkość i kierunek ruchu. Jest on wyposażony w organy stero-

wania sprawiające, że „żółw” dąży do światła (ale unika światła zbyt silnego), a jeśli przy tym zderzy się z jakąś przeszkodą, to zapamiętuje ten fakt i omija przeszkodę, aby się nie zderzyć z nią ponownie. Ponadto po zużyciu części energii akumulatora wchodzącego w skład mechanizmu „żółw” udaje się do miejsca, w którym odbywa się samoczynne naładowanie akumulatora, po czym wyrusza ponownie na poszukiwanie światła.

Modele tego rodzaju zawdzięczają swój rozgłos u szerszego ogółu głównie dzięki ukształtowaniu ich na podobieństwo zwierząt, co wzbudza pewną sensację. W rzeczywistości działanie ich jest bardzo uproszczone, niemniej są one interesujące jako pierwsze próby konstruowania maszyn wykazujących choć w części samodzielność, jaką są obdarzone organizmy zwierzęce.

Na wyróżnienie pod względem doniosłości zasługuje tzw. „homeostat Ashby’ego”. Jak wiadomo, organizm utrzymuje się przy życiu m. in. dzięki dużej odporności na zakłócenia równowagi zachodzących w nim procesów fizjologicznych. Odporność ta wynika z powiązania wielu obiegów sterowniczych, opartych na sprzężeniu zwrotnym ujemnym, zwanym przez fizjologów „homeostazą”; np. dzięki homeostazie organizm utrzymuje z dużą dokładnością stałość swojej temperatury, wilgotności itp. W celu uproszczonego odwzorowania homeostazy biolog angielski W. Ross Ashby skonstruował urządzenie laboratoryjne (nie ukształtowane w postaci żadnego zwierzęcia) nazwane przezeń „homeostatem”, stanowiące układ sprzężonych ze sobą czterech regulatorów, przy czym okazało się, że układ taki odznacza się szczególnie dużą odpornością na zakłócenia nawet przy uszkodzeniu jednego z regulatorów.

2. *Maszyny transponujące*

Maszy ny t r a n s p o n u j ą c e są to maszyny cybernetyczne stosowane do przetwarzania komunikatów zawierających pewne informacje w inne komunikaty zawierające te same informacje.

Spośród nich rozwinęły się szczególnie maszyny transponujące z jednych języków na inne języki, czyli m a s z y n y t ł u m a c z ą c e.

Maszyny cybernetyczne do wykonywania tłumaczeń mogą pracować jako dwujęzyczne (przekład z jednego języka na drugi) lub wielojęzyczne (przekład z wielu języków na wiele języków); przy tłumaczeniu wielojęzycznym jeden z języków odbiera się jako pośredniczący, a wówczas maszyna tłumaczy tekst oryginału na język pośredniczący, a z niego na język przekładu.

Wstępną czynnością, wykonywaną przez personel o odpowiednich kwalifikacjach, jest opracowanie algorytmu maszyny tłumaczącej. Jest to praca trudna i skomplikowana, toteż dla jej uproszczenia autorzy algorytmu biorą pod uwagę takie okoliczności, jak np. tematyka tekstów (np. jeżeli maszyna ma służyć wyłącznie do tłumaczenia dzieł matematycznych, to zbędne jest zajmowanie się terminami np. medycznymi), dopuszczalne niedokładności (które lepiej jest usunąć przy ostatecznym opracowywaniu przekładu przez redaktora niż nadmiernie komplikować prace autorów algorytmu) itp.

Algorytm układa się w założeniu, że maszyna wykonuje tłumaczenie zdania po zdaniu, tzn., że po przetłumaczeniu jednego zdania maszyna likwiduje rejestrację informacji nagromadzonych w związku z tym zdaniem, po czym przystępuje do tłumaczenia następnego zdania. Zdarza się przy tym, że w następnym zdaniu występuje zaimbek odnoszący się do wyrazu z poprzedniego zdania, wobec czego maszyna nie potrafi rozróżnić rodzaju zaimka (np. czy ma być „on” czy „ona”, czy też „ono”), ale usterki takie może łatwo poprawić redaktor przekładu nawet nie znając języka oryginału.

W opracowanie algorytmu wchodzi zestawienie słownika, w którym wyrazom języka oryginału odpowiadają wyrazy języka przekładu (oraz wyrazy języka pośredniczącego, jeżeli maszyna ma pracować jako wielojęzyczna), przy czym wyrazy zaopatrzone są we wskazówki dodatkowe (np. czy wyraz jest rzeczownikiem, czy czasownikiem itp.). Zazwyczaj podaje się tylko temat wyrazu, a wówczas możliwe końcówki objęte są wskazówkami dodatkowymi.

Przygotowanie maszyny do pracy polega na zarejestrowaniu w niej wszelkich informacji objętych algorytmem (a więc słownika i wskazówek), przy czym informacje te są przedstawione za pomocą liczb.

Tłumaczenie przebiega według następujących zasad. Operator wprowadza do maszyny kolejne zdania tekstu w postaci informacji liczbowych (w opracowaniu są już urządzenia umożliwiające maszynie czytanie tekstu oryginału i przekształcanie go w informacje liczbowe).

Maszyna najpierw szuka w zarejestrowanym w niej słowniku poszczególnych wyrazów tłumaczonego zdania i rejestruje je wraz ze wskazówkami dodatkowymi (jeżeli maszyna nie znajdzie jakiegoś wyrazu, to umieści go w tekście przekładu w brzmieniu oryginalnym).

Następnie maszyna sprawdza, czy poszczególne wyrazy zdania nie znajdują się wśród zwrotów wymienionych w algorytmie. Znalazłszy jakiś zwrot maszyna tłumaczy go w całości, a nie każdy wyraz z osobna (np. francuski zwrot „à présent” maszyna przetłumaczy jako „obecnie”, a nie jako dwa oddzielne wyrazy).

Po sprawdzeniu zwrotów maszyna sprawdza, czy któryś z wyrazów oryginału nie jest homonimem, czyli wyrazem wieloznacznym. Homonimy gramatyczne maszyna rozpoznaje dzięki wskazówkom dodatkowym (np. czy chodzi o słowo „piła” jako rzeczownik, czy jako czasownik). Natomiast inne homonimy maszyna rozróżni tylko wtedy, gdy są one zaopatrzone we wskazówki dotyczące kontekstu (np. że „stroić” w połączeniu z „się” znaczy „ubierać się” w odróżnieniu od „stroić” fortepian), zazwyczaj jednak rezygnuje się z podawania takich wskazówek przy opracowywaniu algorytmu, a wówczas maszyna podaje w przekładzie obydwa znaczenia — zbędne znaczenie skreśli redaktor przekładu.

Sprawdziwszy homonimy, maszyna dokonuje analizy zdania oryginału w oparciu o zarejestrowane w niej reguły gramatyczne języka oryginału w kolejności poszczególnych części mowy, a więc np. najpierw czasowniki występujące w zdaniu, potem rzeczowniki, przymiotniki itd., z rozróżnieniem takich okoliczności gramatycznych, jak osoba, czas, liczba itp.

Na podstawie analizy zdania oryginału maszyna dokonuje syntezy zdania przekładu, ustalając odpowiednie formy wyrazów języka przekładu oraz ich miejsce w zdaniu.

Ostatnią czynnością maszyny jest przedstawienie przekładu, ma-

jącego postać informacji liczbowych, jako tekstu utworzonego z liter normalnego pisma i wydrukowanie go na taśmie papierowej.

Opisany przebieg czynności maszyny powtarza się przy każdym następnym zdaniu.

Przekłady dokonywane przez maszyny tłumaczące wymagają nieznacznych poprawek stylistycznych, o których była powyżej mowa. Maszyny tłumaczące pracują znacznie szybciej niż tłumacze, a często również dokładniej.

Maszynami przetwarzającymi komunikaty są również maszyny czytające. Działanie ich polega na przetwarzaniu tekstu w dźwięki mowy i opiera się na następujących zasadach.

Jak wiadomo, każdy obraz można odtworzyć rozkładając go na elementy o jednolitej barwie, np. na elementy czarne i elementy białe. Im drobniejsze są elementy podziału, tym większe jest podobieństwo reprodukcji do oryginału.

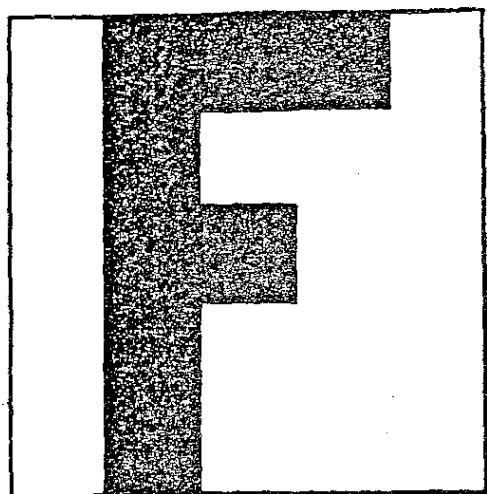
Oznaczając elementy czarne cyfrą 0, a elementy białe cyfrą 1, można każdy obraz przedstawić za pomocą zespołu liczb. Na przykład literę „F” zawartą w kwadracie o 25 elementach (rys. 9) można przedstawić w postaci następujących liczb odnoszących się do pasów poziomych (licząc od góry: 10001, 10111, 10011, 10111, 10111).

Do analizowania liter, czyli wykrywania, które elementy są czarne, a które białe, wykorzystuje się przebiegający po tekście promień świetlny. Natrafiwszy na element biały (tło litery), promień świetlny odbija się i pada na komórkę fotoelektryczną, wywołując w niej prąd elektryczny. Natomiast od elementu czarnego (elementu litery) promień się nie odbija, wobec czego prąd elektryczny w komórce fotoelektrycznej nie powstaje. W ten sposób rozróżnienie elementów „biały — czarny” przetwarza się w rozróżnienie „jest prąd — nie ma prądu”, co, jak już wiemy, może być odpowiednikiem cyfr 1 i 0. Dzięki temu rozkład elementów czarnych i białych może być przedstawiony za pomocą liczb.

Na rys. 9 przedstawiony jest stosunkowo prosty kształt litery. Do rozpoznawania liter bardziej skomplikowanych podział na 25 elementów byłby niewystarczający, dlatego też zwykle stosuje się podział drobniejszy, na 100 elementów. Przy tak drobnej ana-

lizie liter uzyskuje się informacje nie tylko co do różnych zagięć liter, lecz i co do zniekształceń (np. spowodowanych zużyciem czcionek drukarskich, drzeniem ręki piszącego itp.) stanowiących szum informacyjny.

Dlatego maszyna czytająca najpierw oczyszcza informacje o danej literze z szumu informacyjnego, a następnie porównuje kształt odczytanej litery z literami wzorcowymi zarejestrowanymi uprzednio w maszynie. Rozpoznaną w ten sposób literę maszyna drukuje na taśmie papierowej. Maszyna czytająca pracuje tu więc



jak maszynistka przepisująca jakiś tekst (drukowany lub odręczny) na zwykłej maszynie do pisania. Cybernetyczne maszyny czytające mogą pracować z szybkością ponad stu liter na sekundę.

Były czynione próby zastosowania maszyn czytających jako protez dla niewidomych. Maszyna czytająca dowolny tekst przetwarza go w dźwięki lub umowne impulsy dotykowe, których znaczenie niewidomy mógłby rozpoznawać po nabyciu wprawy. Na razie jednak maszyny tego rodzaju są zbyt duże i zbyt kosztowne do omawianego celu.

0	1	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	0	0	0

Rys. 9. Przedstawienie obrazu w postaci liczbowej

W przeciwieństwie do maszyn czytających na głos maszyny notujące służą do przetwarzania mowy w tekst. W tym przypadku maszyna przeprowadza analizę głosek na dźwięki elementarne, które przetwarza w liczby, a następnie w litery drukowane na taśmie papierowej. Maszyny notujące mogą służyć jako protezy dla głuchych,

umożliwiając im czytanie tekstu wygłaszanych słów, bądź do przepisywania przemówień aktualnie wygłaszanych lub uprzednio nagranych na taśmie magnetofonowej, itp. Są to więc cybernetyczne dyktafony.

Podobnie jak w maszynach czytających szumem informacyjnym są zniekształcenia pisma, w maszynach notujących szumem informacyjnym są zniekształcenia mowy. W celu zwalczania trudności z tym związanych zastosowano następujące udoskonalenia. Przypuśćmy, że maszyna napotyka głoskę, której nie może zidentyfikować z powodu niewyraźnej wymowy, np. nie wiadomo, czy mówca powiedział „trzeba się liczyć” czy też „trzeba się leczyć”. W celu rozstrzygnięcia tego rodzaju wątpliwości maszyna jest wyposażona w organy liczące, ile razy jakaś głoska była dotychczas użyta w skojarzeniu z innymi głoskami. Na przykład, jeżeli po „l” głoska „e” występowała dotychczas 78 razy, a głoska „i” tylko 17 razy, to maszyna przesądzi sprawę na rzecz głoski „e” jako częściej występującej, a więc bardziej prawdopodobnej, i w danym przypadku uzna, że właściwe brzmienie jest „leczyć”. Oczywiście może się okazać, że w rzeczywistości zaszedł przypadek mniej prawdopodobny (mówca powiedział właśnie „liczyć”), czyli że maszyna popełniła błąd. Mamy tu sytuację, w której konstruktor sam nie przesądził rozstrzygnięcia podobnych wątpliwości, lecz pozostawił to maszynie i nieprzewidzianym okolicznościom (nie było z góry wiadomo, co mówca powie przed dojściem do spornego wyrazu, czyli jaki będzie wynik działania organów liczących skojarzenie głosek). Inaczej mówiąc, maszyna otrzymała „prawo do błędu”.

Istotne w omawianej metodzie jest to, że w razie wątpliwości maszyna odwołuje się do swoich doświadczeń z przeszłości, a więc postępuje jak organizm żywy w podobnych sytuacjach (np. zwierzę kieruje się chętniej do miejsca, w których częściej zdarzało mu się znajdować pożywienie, człowiek unika ludzi, od których spotykały go przykrości itp.). Wprawdzie człowiek starałby się rozstrzygnąć wątpliwość na podstawie treści przemówienia, ale jest to tylko inna forma korzystania z doświadczeń przeszłości — treść przemówienia mogłaby dostarczyć potrzebnej wskazówki tylko człowiekowi obeznanemu z tematem, a więc mającemu już dawniejsze skojarzenia odpowiednich pojęć. Podobne skojarzenia możliwe są do zrealizowania również w maszynie cybernetycznej, jakkolwiek kosztem większego skomplikowania jej budowy (mówiliśmy już o tym w związku ze zdolnością maszyn tłumaczących do rozróżniania homonimów).

3. Maszyny komponujące

W odróżnieniu od maszyn transponujących, które przetwarzają komunikaty bez zmiany informacji, m a s z y n y k o m p o n u j ą c e wytwarzają komunikaty o informacjach obszerniejszych niż informacje dostarczone do maszyny. Mówiąc obrazowo, między maszynami transponującymi a maszynami komponującymi jest mniej więcej takła różnica, jak między maszynistką przepisującą dany tekst a sekretarką układającą list na podstawie danych jej wskazówek.

Do grupy maszyn komponujących należą m a s z y n y r e d a g u j ą c e przeznaczone do redagowania prostych listów w biurach o jednolitej korespondencji, na którą składają się np. typowe zawiadomienia, ponaglenia, potwierdzenia itp. Maszyna otrzymuje nazwisko adresata, jego adres oraz podstawowe informacje dotyczące danej sprawy, po czym sama dobiera odpowiednie formy stylistyczne. Na przykład podanie nazwiska adresata wraz z informacją, że jest nim kobieta, sprawia, że maszyna rozpocznie list od słów „Szanowana Pani”. Istniejąca za granicą maszyna cybernetyczna tego rodzaju sporządza 60 listów na godzinę.

Dając maszynie redagującej pewną swobodę w dobieraniu słów, można uzyskać teksty o nieprzewidzianych skojarzeniach, co wykorzystano w zastosowaniu takich maszyn do komponowania wierszy.

Przyjrzyjmy się następującym dwóm tekstom.

Tekst pierwszy:

Smuga siwizny w przepaści
Ziemia kołysze się
Na magnetycznej fali
Płyniemy dalej
Czarne nieruchome ruchome
Świecąca gwiazda pluska
Powrót z pustą siecią myśli.

Tekst drugi:

Wytrysnęło źródło
Którego fale
Na zawsze zamknęły przeszłość
Głóg zastąpił przebiśnieg

I oto fioletowa godzina
W czasie której słyszy się
Jak żaba depce nenufar.

Ciekawe, jak poszczególni czytelnicy oceniają wartość wierszy komponowanych przez maszynę. Chyba jednak wielu czytelników będzie zaskoczonych wiadomością, że tylko jeden z przytoczonych tekstów jest skomponowany przez maszynę. Pozwalamy sobie przy tym powątpiewać, czy czytelnicy rozpoznają — który. Aby nie utrzymywać czytelników w niepewności, podajemy, że pierwszy tekst jest fragmentem utworu poetyckiego, wydrukowanego niedawno w jednym z polskich czasopism literackich, natomiast drugi jest polskim przekładem francuskiego utworu skomponowanego przed kilku laty przez maszynę cybernetyczną, skonstruowaną przez Ducrocqa.

W działaniu maszyn do komponowania tekstów można rozróżnić dwa skrajne przypadki: 1) albo pozostawić maszynie zupełną swobodę w przypadkowym kojarzeniu słów z zachowaniem jedynie gramatycznej ich poprawności, 2) albo narzucić jej formułowanie ścisłych sądów logicznych na określony temat. Kojarząc obydwie te przypadki w jednej maszynie, można otrzymać teksty o osnowie logicznej zabarwione niespodziewanymi zwrotami słownymi, z czym przecież mamy do czynienia także w utworach żywych poetów.

Maszyny cybernetyczne zastosowano także jako m a s z y n y d o k o m p o n o w a n i a u t w o r ó w m u z y c z n y c h, pozostawiając maszynie pewną swobodę w dobieraniu dźwięków przy zachowaniu ogólnych reguł kompozycji muzycznej. W jednej z firm zagranicznych istnieje maszyna komponująca 1000 płyt muzyki tanecznej na godzinę.

Istnieją także m a s z y n y m a l u j ą c e. Przy pewnej swobodzie dobierania barw i ich rozmieszczania maszyny takie produkują obrazy abstrakcyjne odznaczające się harmonijnością kompozycji i swoistą jednolitością stylu, przy czym można te maszyny programować w taki sposób, że ani jeden obraz nie będzie powtórzeniem motywów z poprzednich obrazów. Maszyny tego rodzaju mogą także malować obrazy przedstawiające określone treści, np. kwiaty, pejzaże lub nawet portrety. Stawiając przed maszyną odpowiedni model, można uzyskać jego dokładną repro-

dukcję (np. kopię mapy) — w tym przypadku maszyna malująca działa jako maszyna transponująca. Natomiast dopuszczając pewną przypadkowość bądź narzucając motywy zniekształcające, otrzymuje się obrazy przedstawiające przedmioty w sposób deformujący w większym lub mniejszym stopniu rzeczywistość (np. kwiaty stylizowane).

Jak wiadomo, w obecnym malarstwie abstrakcyjnym malarze często komponują wiele wariantów jakiegoś motywu, wybierając spośród nich ten, który wydaje im się najbardziej interesujący. A więc nawet gdyby wysuwać zastrzeżenie co do artyzmu obrazów malowanych przez maszyny cybernetyczne, to okoliczność, że maszyna potrafi namalować ich wiele w ciągu krótkiego czasu, stwarza większe możliwości wybrania przynajmniej kilku obrazów mających niewątpliwie wartość artystyczną.

4. Maszyny rozgrywające

Maszy ny r o z g r y w a j ą c e są to maszyny mogące brać udział w jakiejś grze jako jeden z partnerów. Najbardziej interesujące są maszyny cybernetyczne do gry w szachy.

Gra między maszyną a żywym szachistą odbywa się w taki sposób, że posunięcia wykonywane przez szachistę przekazuje się maszynie przez naciśnięcie odpowiednich przycisków na pulpici sterowniczym maszyny, a maszyna podaje swoje posunięcie drukując je na taśmie papierowej. Gdy szachista wykona posunięcie niezgodne z prawidłami gry, maszyna zwraca mu uwagę (również przez wydrukowanie na taśmie papierowej). W razie powtarzania się posunięć nieprawidłowych maszyna odmawia dalszego prowadzenia gry i ogłasza swoją wygraną.

W maszynie zarejestrowane są prawidła gry oraz dane umożliwiające ocenę pozycji na szachownicy. Wszystkie te informacje oraz kolejne posunięcia szachisty i maszyny są przedstawione za pomocą liczb. Po każdym posunięciu szachisty maszyna sprawdza najpierw wszystkie posunięcia własne dopuszczane przez prawidła gry, następnie dla każdego z tych posunięć sprawdza wszystkie możliwe posunięcia szachisty, potem wszystkie posunięcia własne dla każdego posunięcia szachisty itd. Jest to więc taki sam sposób przewidywania, jaki stosuje każdy szachista,

gdy rozważa: „jeżeli ja tak, to on tak, a jeżeli ja wtedy tak, to on tak...” itd., z tą tylko różnicą, że maszyna sprawdza wszystkie możliwe posunięcia w danej pozycji, szachista zaś rozpatruje tylko te, które mu przychodzą na myśl w wyniku rutyny przy rozgrywaniu wielu wcześniejszych partii. Wszystkie możliwe przebiegi i pozycje maszyna rejestruje, a następnie wybiera pozycję najkorzystniejszą i wykonuje posunięcie zmierzające do tej pozycji, po czym likwiduje całą zarejestrowaną analizę. Po posunięciu szachisty maszyna przeprowadza całą analizę od nowa itd.

W partii szachowej każda ze stron ma do wyboru przeciętnie około 32 posunięć, a więc maszyna, po wykonaniu swojego kolejnego posunięcia i otrzymaniu odpowiedzi szachisty, ma do zanalizowania około tysiąca możliwych pozycji. Przy przewidywaniu dwóch najbliższych posunięć maszyna ma do zanalizowania około miliona pozycji; zadanie to maszyna potrafi wykonać w ciągu kilku minut. Jednak przy przewidywaniu trzech najbliższych posunięć (około miliarda możliwych pozycji) analiza zajęłaby maszynie w przybliżeniu już dwie doby, a przy przewidywaniu czterech posunięć — przeszło 5 lat. Jak widać, nawet pomimo ogromnej szybkości działania urządzeń elektronicznych, maszyna musiałaby zużywać bardzo dużo czasu przy przewidywaniu na wiele posunięć. Natomiast na przewidywanie tylko dwóch posunięć maszyna zużywa mniej czasu niż przeciętny szachista, a ponadto ma nad nim tę wyższość, że analizuje wszystkie możliwości bez wyjątku. W celu zwiększenia liczby posunięć przewidywanych przez maszynę opracowano program, według którego maszyna ma analizować ograniczoną liczbę pozycji, podobnie jak to czynią szachiści.

Rzecz jasna, maszyn cybernetycznych do gry w szachy nie buduje się dla przyjemności szachistów — byłoby to zbyt kosztowną zabawą. Szachy są tu obiektem doświadczeń o wielkiej doniosłości. Jest zrozumiałe, że sterowanie jest tym bardziej utrudnione, im bardziej skomplikowane zmiany zachodzą w przedmiocie sterowania. Pod tym względem szczególnie interesujące są wszelkiego rodzaju gry, ponieważ każdy z partnerów nie tylko zmienia sytuację w grze, ale dąży do tego, żeby to były zmiany na niekorzyść przeciwnika. Prowadzenie gry przez maszynę cybernetyczną jest więc obrazem sterowania wobec piętrzących się coraz to

nowych przeszkód. Badania tego rodzaju procesów sterowniczych są przydatne np. do automatyzacji sterowania wielkich sieci elektrycznych z uwzględnieniem uszkodzeń, nieoczekiwanych wzrostów obciążenia itp. Do badań tych obrano szachy jako grę najbardziej obfitującą w rozmaite możliwości i trudną do ujmowania matematycznego (jak wiadomo, jedne figury szachowe są „silniejsze” od innych, a przy tym możliwe jest zamiatowanie przeciwnika nawet mającego przewagę pod względem ilości i siły figur). Dlatego też rozmaite gry, do niedawna traktowane wyłącznie jako rozrywki umysłowe, stały się przedmiotem tzw. teorii gier (stworzonej przez Neumanna), rozwijanej jako poważny środek interpretacji przeszkód przeciwdziałających realizacji procesów sterowniczych.

VI. Maszyna a człowiek

Człowiek jest skłonny przypisywać sobie wyjątkowe, szczególnie uprzywilejowane stanowisko w świecie. Niegdyś przejawiało się to w pogardliwym stosunku człowieka do zwierząt, wyrażającym się m. in. w terminologii. Wyraz „głowa” przeznaczano tylko dla człowieka — u zwierzęcia był to obowiązkowo „łeb”. Do ludzi odnosiły się wyrazy „twarz”, „krew”, „noga” — do zwierząt zaś „pysk”, „posoka”, „łapa” itd. Stworzona przez Darwina teoria wzburzyła początkowo wiele ludzi, obecnie jednak wszyscy pogodzili się z poglądem uznającym pokrewieństwo między człowiekiem a światem zwierzęcym. Nikomu też nie przychodzi na myśl określać np. wątrobę psa i człowieka różnymi wyrazami.

Zagadnienie roli człowieka odżyło wraz z pojawieniem się cybernetyki, tym razem w stosunku do maszyn. O ile sprawa pokrewieństwa między człowiekiem a zwierzęciem nie wzbudza już żadnych emocji, to jednak dopatrywanie się podobieństwa między człowiekiem a maszyną wywołuje u wielu ludzi żywy sprzeciw. Nawet w literaturze naukowej, używając takich słów, jak „pamięć” maszyny, „uczenie się” maszyn, maszyny „myślące” itp., pisze się je zwykle w cydzysłowie, niejako z zażenowaniem, że przypisuje się maszynie funkcje właściwe człowiekowi.

Postawa taka wynika stąd, że do niedawna ludzie mieli do czynienia wyłącznie z maszynami wykonawczymi. Postęp techni-

czny doprowadził do budowy maszyn pracujących z o wiele większą siłą niż człowiek, były to jednak ciągle tylko narzędzia, którymi kierowanie należało do człowieka. Inaczej mówiąc, człowiek budował maszyny dla realizacji obiegów energii, zachowując dla siebie obiegi informacji.

Wyposażając maszyny w sygnalizatory i regulatory, człowiek przekazał maszynom niektóre obiegi informacji, co dało początek automatyce. Obiegi te były jednak niezwykle ubogie. Na przykład gdy nadjeżdżający pociąg samoczynnie zapala czerwoną lampę sygnałową, to występuje tu obieg informacji w ilości zaledwie 1 bita (zachodzi jeden z dwóch możliwych stanów: „jest czerwone światło” — „nie ma czerwonego światła”). W tym obiegu informacji czynny jest tylko jeden element rejestracyjny, mianowicie lampka sygnałowa.

Jeszcze i obecnie maszyny uważane za zautomatyzowane mają co najwyżej kilka lub kilkanaście elementów rejestracyjnych.

Dopiero wprowadzenie maszyn cybernetycznych wywołało wyraźny przewrót w odniesieniu do obiegów informacji, jako że maszyny te mają po kilka tysięcy elementów rejestracyjnych, a nowsze z nich po kilkanaście tysięcy. Wzbogaciło to obiegi informacyjne w maszynach tak dalece, że porównywanie działania maszyn z zachowaniem się organizmów przestało być czymś absurdalnym. Jeśli więc wziąć pod uwagę, że liczba elementów rejestracyjnych u owadów wynosi również od kilku do kilkunastu tysięcy, to widać, że już obecnie maszyny cybernetyczne mogą odbierać, przetwarzać i wydawać tyleż informacji co organizmy zwierzęce.

Nasuwa się pytanie, jak się przedstawiają możliwości konstruowania maszyn dorównujących organizmowi ludzkiemu. Z jednej strony idee cybernetyczne znalazły entuzjastów do snucia fantastycznych perspektyw na ten temat, z drugiej zaś pobudziły sceptyków do wygłaszania poglądu, że zbudowanie maszyny, mającej pod względem zdolności do myślenia takie właściwości jak człowiek, jest w ogóle niemożliwe.

Wygłaszanie twierdzeń, że coś jest w nauce niemożliwe, jest rzeczą ryzykowną. Jeszcze przed stu laty, a więc po osiemnastu wiekach od szczytowego okresu cywilizacji rzymskiej, w sferze marzeń pozostawały pragnienia, żeby można było słyszeć i widzieć

zdarzenia dziejące się współcześnie w miejscach odległych o tysiące kilometrów lub zobaczyć, jak wygląda odwrotna strona księżycy, a przecież z rozwojem radiofonii, telewizji i astronautyki zostały one spełnione, a nawet wszystkie te osiągnięcia zdążyły nam spowszednieć.

Jeszcze przed niespełna dziesięciu laty sceptycy twierdzili, że maszyny mogą działać jedynie według programu narzuconego przez człowieka, a tymczasem istnieją już maszyny, które same kształtują sobie program działania. Twierdzili też, że maszyny są niezdolne do uogólnienia pojęć ani do uczenia się, a jednak istnieją maszyny mające tego rodzaju właściwości.

Pomimo tych osiągnięć cybernetyki wiele ludzi odczuwa, że zachowanie się maszyn to przecież nie to samo, co zachowanie się człowieka. Na przykład człowiek może ocenić, że „Sonata księżycowa” Beethovena jest arcydziełem, a „Trędowata” Mniszkówny nie — w jakimś sposób maszyna zdołałaby przeprowadzić porównanie między utworem muzycznym a powieścią i w dodatku ustalić stopień ich artyzmu? Człowiek potrafi rozróżniać charakter innych ludzi, wybrać zawód, wyrobić sobie światopogląd — czy mogłaby coś podobnego uczynić maszyna?

Wyższość człowieka nad zwierzętami i maszynami cybernetycznymi polega w istocie na przewadze pod względem liczby elementów rejestracyjnych, którymi u człowieka są zakończenia nerwowe w mózgu; wynosi ona u człowieka kilkanaście miliardów. Teoretycznie nie ma przeszkód w zbudowaniu maszyny cybernetycznej o podobnej, a nawet większej liczbie elementów rejestracyjnych, a więc maszyny równorzędnej, a nawet przewyższającej człowieka pod względem zdolności do spełniania funkcji umysłowych. W praktyce zamierzenie takie napotkałoby przemożne trudności. Weźmy na przykład pod uwagę rozmiary, jakie musiałaby mieć maszyna tego rodzaju. Obecnie maszyna cybernetyczna wyposażona w kilkanaście tysięcy elementów rejestracyjnych zajmuje co najmniej jedną salę, a więc maszyna o kilkunastu miliardach elementów rejestracyjnych musiałaby zajmować około miliona sal, czyli dziesięć tysięcy budynków stuizbowych. Jak z tego wynika, maszynowy model mózgu ludzkiego miałby rozmiary wielkiego miasta zamieszkałego przez milion mieszkańców! Trudności budowy maszyny cybernetycznej, działającej w sposób nie mniej do-

skonały niż mózg ludzki, wynikają więc przede wszystkim z braku technicznych elementów konstrukcyjnych, choćby w przybliżeniu tak małych jak komórka organiczna.

Niewątpliwie dalszy postęp cybernetyki przyczyni się do zmniejszenia przepaści dzielącej człowieka od maszyn. Niemniej gdyby nawet możliwości maszyn wzrosły tysiąckrotnie, to zamiast jednej milionowej wynosiłyby one jedną tysięczną, a więc wciąż jeszcze bardzo małą część możliwości człowieka. Inaczej mówiąc, człowiek, przerzucając na maszyny część swoich zadań kierowniczych, będzie mógł to czynić w stosunkowo małym zakresie swoich własnych możliwości.

W każdym razie można oczekiwać, że rozwój cybernetyki przyczyni się do zautomatyzowania procesów przemysłowych i innych prac w stopniu dotychczas nieosiągalnym, a zarazem umożliwi człowiekowi lepsze zrozumienie jego własnej natury.

Niektórych czytelników może razić narzucająca się myśl, że w istocie człowiek jest również pewnego rodzaju maszyną cybernetyczną, tyle że mającą znaczny stopień doskonałości. Zdziwienie wywołane zrozumieniem tego stanu rzeczy nie różniłoby się w zasadzie od uczucia, jakiego doznał bohater molierowskiej komedii, gdy sobie uświadomił, że przez całe życie mówił prozą. Człowiek pozostaje człowiekiem bez względu na to, z jakiego punktu widzenia się go rozpatruje, podobnie jak miłość nie przestaje być źródłem najczystszych wzruszeń, chociaż w pojęciu fizjologów jest ona przejawem działania gruczołów.

Na zakończenie pragnęlibyśmy zwrócić uwagę czytelnika na pewną istotną okoliczność. W odległych czasach wykształcenie jednostki mogło obejmować wszystko, co nauka zdołała osiągnąć. Z czasem dorobek nauki zaczął przerastać możliwości jednego człowieka, w związku z czym zaczął zarysowywać się podział nauki na jej główne dziedziny. Z dalszym rozwojem nauki okazało się, że nikt nie może opanować nawet jednej dziedziny, wobec czego dziedziny nauki zaczęto dzielić na określone specjalności. Obecnie staje się coraz bardziej oczywiste, że jeden człowiek może się dobrze rozeznąć zaledwie w zakresie tzw. wąskiej specjalności, a zdarzają się nawet ludzie poświęcający trud całego swojego życia tylko jednej określonej problematyce. Z punktu widzenia rozwoju umysłowego ludzkości jest niezmiernie interesujące, że wła-

śnie w dobie coraz bardziej postępującej specjalizacji pojawiła się cybernetyka jako nauka o ogromnym zasięgu, unaoczniająca, iż wszelkie podziały są jedynie sztucznymi barierami naruszającymi jedność nauki.

LITERATURA

(W JĘZYKU POLSKIM)

1. S. BOGUSŁAWSKI, H. GRENIEWSKI, J. SZAPIRO: *Dialogi o cybernetyce*, Myśl Filozoficzna nr 4 (14), 1954
2. M. CHOYNOWSKI: *Założenia cybernetyki a zagadnienia biologii*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1957
3. A. DUCROCQ: *Era robotów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1960
4. H. GRENIEWSKI: *Cybernetyka z lotu ptaka*, Książka i Wiedza, 1959
5. H. GRENIEWSKI: *Elementy cybernetyki sposobem niematematycznym wyłożone*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1959
6. L. P. KRAJZMER: *Cybernetyka techniczna*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1959
7. P. DE LATIL: *Sztuczne myślenie — wstęp do cybernetyki*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1958
8. W. SLUCKIN: *Mózg i maszyny — zarys cybernetyki*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1957
9. N. WIENER: *Cybernetyka i społeczeństwo*, Książka i Wiedza, 1960