007:53.03

Prof. dr MARIAN MAZUR
CENTRALNY URZĄD JAKOŚCI I MIAR

Teoria informacji a metrologia

Podano ścisłe definicje informacji, ilości informacji, komunikatu i kodu oraz przeprowadzono rozróżnienie między przenoszeniem informacji a przetwarzaniem informacji. Na tej podstawie przedstawiono interpretację pomiaru jako procesu informacyjnego. Omówiono dokładność pomiaru z punktu widzenia teorii informacji. Okazano korzyści traktowania toru pomiarowego jako składnika toru sterowniczego.

Wstęp

Motywem wykonywania wszelkich pomiarów jest dążenie do poznawania (w sposób umożliwiający liczbowe ich określanie) wielkości fizycznych charakteryzujących stany i zjawiska fizyczne, czyli do uzyskiwania o nich informacji. W dotychczasowych stwierdzeniach tego rodzaju pojęcie „informacji" było dotychczas traktowane jedynie w oparciu o przyzwyczajenia z języka potocznego, bez nadawania temu pojęciu naukowo ścisłej definicji. Nic więc dziwnego, że w miarę rozwoju teorii informacji metrologowie zaczęli żywić nadzieje znalezienia w niej nowych, ściślejszych środków ujmowania procesu pomiarowego i jego podstawowych elementów. Obecnie można już powiedzieć, że teoria informacji w znacznym stopniu spełniła te nadzieje, a nawet umożliwiła rozwiązanie pewnych problemów, z którymi metrologia nie mogła się dotychczas uporać. Jeżeli jednak ogół metrologów nie korzysta jeszcze z tych osiągnięć, to głównie z tej przyczyny, że w samej teorii informacji doprowadzono wprawdzie do uściślenia pojęcia „ilości informacji" (wprowadzenie tego pojęcia okazało się osiągnięciem o wielkiej doniosłości), ale z pojęciem „informacji" nie dano sobie rady wskutek trudności związanych z jego aspektami psychologicznymi, określanymi potocznie jako „treść", „znaczenie", „rozumienie" itp. W rezultacie wytworzyła się w tej sprawie dwoistość postawy, polegająca na tym, że technicy odżegnują się od wszelkich zagadnień semantycznych informacji i zajmują się wyłącznie ilością informacji (którą często nazywają po prostu „informacją", przyczyniając się tym do zwiększania zamętu), humaniści zaś usiłują znaleźć objaśnienie informacji (traktowanej z ich punktu widzenia) środkami teorii informacji. W konsekwencji publikacje jednych i drugich na ten temat cechują się mnóstwem ograniczeń definicyjnych, zastrzeżeń, komentarzy itp. Metrologa, który chciałby z tych publikacji skorzystać, stawia to w trudnej sytuacji, zamiast bowiem jasnych sformułowań typu podręcznikowego, jakich specjalista z jakiejś dziedziny zwykle szuka potrzebując wiadomości z innej dziedziny, znajduje rozwlekłe rozważania nad piętrzącymi się wątpliwościami, do których usunięcia musiałby się sam stać specjalistą z teorii informacji.

Naszym zdaniem zarówno droga obrana przez techników, jak i droga obrana przez humanistów są błędne, ponieważ definicji informacji nie można naginać, ani do potrzeb techniki, ani do potrzeb humanistyki. Musi ona wynikać z aparatury pojęciowej samej teorii informacji i jeżeli z tego tylko punktu widzenia zostanie sensownie sformułowana, to z pewnością będzie przydatna zarówno dla techniki, jak i dla humanistyki.

Na innym miejscu (2) okazaliśmy już, że to jest możliwe, toteż w tym referacie przytoczymy jedynie samo rozwiązanie problemu zdefiniowania informacji, główny nacisk kładąc na zastosowanie pojęć informacyjnych w metrologii.

Podstawowe pojęcia informacyjne

Definicję informacji można wyprowadzić z ogólnych pojęć sterowniczych, a więc bez przesądzania czy chodzi o procesy zachodzące w maszynach, czy też w organizmach.

Jak wiadomo, sterowanie jest to wywieranie pożądanego wpływu na określone zjawiska. Jeżeli organ dokonujący sterowania nazwiemy ogólnie „sterownikiem", to sterowanie można określić jako proces, w którym pod wpływem pewnego bodźca S, powstałego na wejściu sterownika, nastąpi pożądana reakcja R na wyjściu sterownika (rys. 1).

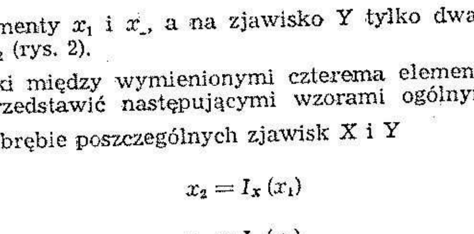
Przypuśćmy, że źródłem bodźca S jest jakieś zjawisko X (rys. 1a). Używając języka potocznego można by powiedzieć, że aby wydać pożądaną reakcję R, sterownik musiałby otrzymać, za pośrednictwem bodźca S, informację zawartą w zjawisku X.

Przypuśćmy z kolei, że zamiast zjawiska X występuje inne zjawisko Y, różniące się od zjawiska X postacią występującej w nim energii i materii (rys. 1b). I w tym przypadku można by powiedzieć, że aby wydać taką samą reakcję R, sterownik musiałby otrzymać, za pośrednictwem takiego samego bodźca S, informację zawartą w zjawisku Y.

Nasuwa się pytanie, czy jest możliwe, żeby sterownik wydał taką samą reakcję R bez względu na to, czy źródłem bodźca S jest zjawisko X, czy też zjawisko Y. Rzecz jasna jest to możliwe, gdy zjawisko X i zjawisko Y zawierają taką samą informację.

W powyższych zdaniach posłużyliśmy się wyrazem „informacja" nie mając dla niego żadnej definicji. Obecnie jednak możemy powiedzieć przynajmniej tyle, że informacjami są wspólne cechy zjawisk X i Y zapewniające jednakowość bodźca S (a w konsekwencji jednakowość reakcji R), tj. sprawiające, że w obu przypadkach proces sterowniczy przebiegnie jednakowo.

W celu wykrycia owych wspólnych cech rozpatrzmy najprostszy przypadek, gdy na zjawisko X składają się tylko



Rys. 1. Objaśnienie niezależności informacji od rodzaju zjawiska będącego ich źródłem w procesie sterowniczym

dwa elementy x_1 i x_2, a na zjawisko Y tylko dwa elementy y_1 i y_2 (rys. 2).

Związki między wymienionymi czterema elementami możemy przedstawić następującymi wzorami ogólnymi:

a) w obrębie poszczególnych zjawisk X i Y

$$x_2 = I_x(x_1) \tag{1}$$

$$y_2 = I_y(y_1) \tag{2}$$

b) między zjawiskami X i Y

$$y_1 = k_1(x_1) \tag{3}$$

$$y_2 = k_2(x_2) \tag{4}$$

przy czym I_x, I_y, k_1, k_2 są operatorami wyrażającymi poszczególne związki.

Podstawiając wyrażenia (3) i (4) do równania (2) otrzymamy

$$k_2(x_2) = I_y[k_1(x_1)] \tag{5}$$

W przypadku gdy

$$I_y[k_1(x_1)] = k_1[I_y(x_1)] \tag{6}$$

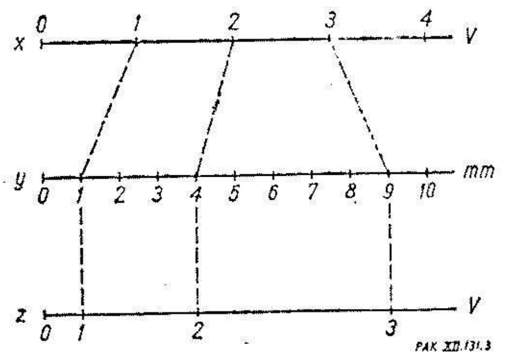
czyli, gdy jest obojętne czy najpierw wykonuje się operację I_y, czy też operację k_1, można równanie (5) przedstawić w postaci

$$k_2(x_2) = k_1[I_y(x_1)] \tag{7}$$

a w razie identyczności operatorów $k_1 = k_2 = k$

$$x_2 = I_y(x_1) \tag{8}$$

Z porównania równań (1) i (8) wynika identyczność operatorów $I_x = I_y = I$.



Rys. 2. Ilustracja pojęć sterowniczych: x — oryginał, y — obraz, k — kod, I — informacja

A zatem, pod warunkami wymienionymi powyżej, jest możliwe, że zjawiska X i Y, chociaż różniące się pod względem postaci energii i materii, mają wspólną cechę. Jest nią związek między elementami poszczególnych zjawisk (X bądź Y) określony operatorem I. Jeżeli ta właśnie cecha oddziała, za pośrednictwem bodźca S, na sterownik, to będzie on stanowić dla niego informację otrzymaną ze zjawiska X bądź ze zjawiska Y. Wobec jej identyczności przebieg sterowania będzie w obu przypadkach jednakowy.

Na tej podstawie można sformułować następującą definicję: *informacja jest to związek między elementami tego samego zjawiska wykorzystywany w procesie sterowania.*

Definicja ta ma charakter ogólny, ponieważ nie uzależnialiśmy rozważań od okoliczności, czym jest sterownik.

Jeżeli zjawisko X jest dla sterownika niedostępne, to do otrzymania informacji I zawartej w zjawisku X wystarcza, jeżeli dostępne jest dla niego inne zjawisko Y zawierające taką samą informację I.

Nazywając niedostępne zjawisko X *oryginałem*, a dostępne zjawisko Y *obrazem* można powiedzieć, że do otrzymania informacji zawartej w oryginale wystarcza dysponowanie jego obrazem lub inaczej, że nie dysponując oryginałem można do sterowania wykorzystać obraz.

Zjawiska zawierające informacje są *komunikatami*. Oryginały i obrazy są więc rodzajami komunikatów.

Związek (operator k) między oryginałem a obrazem jest *kodem*. Na podstawie oryginału i kodu można określić obraz. Na podstawie obrazu i kodu można określić oryginał.

Przetwarzanie oryginałów w obrazy jest *przetwarzaniem komunikatów*. Kod określa sposób ich przetwarzania. Proces ten może być ciągiem wielu komunikatów, odgrywających rolę obrazów dla poprzednich komunikatów, a rolę oryginałów dla następnych komunikatów. Taki ciąg komunikatów jest *torem informacyjnym*.

Przetwarzanie komunikatów bez zmiany informacji jest *przenoszeniem informacji*.

Przetwarzanie komunikatów ze zmianą informacji jest *przetwarzaniem informacji*.

Dla całokształtu pozostaje wspomnieć o pojęciu „ilości informacji", wprowadzonym już przez [illegible] informacji. Gdy proces informacyjny polega na wyróżnieniu jednego z N elementów jakiegoś zbioru, to ilość informacji można wyrazić liczbą N lub jej logarytmem. Postać logarytmiczną uznano za dogodniejszą [6] m.in. z tego powodu, że w operacjach matematycznych pozwala ona zastąpić mnożenie dodawaniem, a potęgowanie mnożeniem. Najczęściej używa się logarytmu przy podstawie 2, w związku z czym wzór na ilość informacji ma postać

$$H = \lg_2 N \tag{9}$$

Do wyróżnienia jednego elementu potrzebny jest zbiór zawierający co najmniej $N = 2$ elementy, a wówczas $H = 1$. Jak wiadomo, okoliczność ta posłużyła do wprowadzenia jednostki ilości informacji 1 bit, jako równej ilości informacji przy wyróżnieniu jednego z dwóch elementów. Przy $N = 1$ niemożliwe jest wyróżnienie, a więc nie ma informacji. Istotnie, zgodnie ze wzorem (9) ilość informacji wynosi wówczas $H = 0$.

Pojęcie ilości informacji daje się uzasadnić za pomocą sformułowanego przez nas powyżej pojęcia informacji. Przypuśćmy, że oryginał X zawiera liczbę elementów $N = 4$ oraz że jeden z nich, który na razie oznaczymy nie określonym bliżej symbolem x, został wyróżniony, przy czym okazało się, że jest nim np. element x_3. Jest to równoznaczne z otrzymaniem następujących 4 informacji: $x \neq x_1$, $x \neq x_2$, $x = x_3$, $x \neq x_4$. Pozostaje to w zgodzie ze wspomnianym powyżej sposobem wyrażania ilości informacji liczbą wszystkich eleemntów $N = 4$.

Można też przeprowadzić identyfikację elementu x dzieląc najpierw wszystkie $N = 4$ elementy na dwie grupy: x_1 i x_2 oraz x_3 i x_4. Pierwszą informacją jest więc stwierdzenie, że element x należy do drugiej grupy, a ponieważ zachodzi tu wyróżnienie jednej z dwóch możliwości, więc ilość informacji wynosi przy tym 1 bit. Drugą informacją jest stwierdzenie, że $x = x_3$, a ponieważ i tutaj zachodzi wyróżnienie jednej z dwóch możliwości (x_3, x_4), więc ilość informacji wynosi 1 bit. Łącznie, przy wyróżnieniu jednego z czterech elementów, ilość informacji wynosi 2 bity, a to pozostaje w zgodzie ze wzorem (9), według którego $H = \lg_2 4 = 2$.

Z pojęcia ilości informacji wynikają dwa inne doniosłe pojęcia informacyjne.

Jeżeli liczba elementów któregoś komunikatu jest mniejsza od liczby elementów poprzedniego komunikatu, to przenoszona w takim torze ilość informacji nie może być większa od ilości informacji odpowiadającej komunikatowi o mniejszej liczbie elementów. A zatem największa możliwa ilość informacji przenoszona w torze informacyjnym jest równa ilości informacji wynikającej z komunikatu o najmniejszej liczbie elementów w tym torze. Jest ona ***pojemnością*** danego toru informacyjnego i daje się wyrazić w bitach.

Na przetwarzanie komunikatów potrzeba pewnego czasu. Najwieksza możliwa szybkość przenoszenia informacji w torze informacyjnym jest *przelotnością* danego toru informacyjnego i daje się wyrazić w bit/s.

W teorii informacji rozróżnia się nastepujace rodzaje informacji: 1) *informacje użyteczne*, tj. informacje potrzebne do danego procesu sterowniczego, 2) *informacje redundancyjne*, tj. informacje zbędne w danym procesie sterowniczym jako będące powtórzeniem już otrzymanych informacji użytecznych, 3) *szum informacyjny*, tj. informacie szkodliwe w danym procesie sterowniczym jako pochodzace ze zjawisk postronnych zniekształcających informacje użyteczne.

Doniosłym osiągnięciem okazało się stwierdzenie, że zwalczanie skutków szumu informacyjnego jest możliwe za pomocą informacji redundancyjnych.

Przytoczone tu pojecia informacyjne zastosujemy obecnie do interpretacji procesu pomiarowego.

Pomiar jako proces informacyjny

Z punktu widzenia teorii informacji można traktować pomiary jako przetwarzanie komunikatów, w którym oryginałami są wielkości mierzone, obrazami zaś wyniki pomiarów.

Pomiary służą wyłącznie do procesów sterowniczych i są potrzebne tylko wtedy, gdy oryginał jest zjawiskiem nie dającym się do tego celu bezpośrednio wykorzystać. Celem pomiaru jest wytworzenie takiego obrazu, który nadaje się do wykorzystania w danym procesie sterowniczym. Wynika stąd wymaganie, żeby obraz zawierał takie same informacje, jakie zawiera oryginał, tj. żeby pomiar był przenoszeniem informacji.

Wymaganie powyższe może być spełnione w dwóch przypadkach:

1) gdy wszystkie pośrednie komunikaty toru pomiarowego traktowanego jako tor informacyjny zawierają jednakowe informacje,

2) gdy w pewnej części toru pomiarowego zachodzi przetwarzanie informacji przy określonym kodzie, ale w pozostałej części toru zachodzi przetwarzanie informacji przy kodzie odwrotnym do poprzedniego, dzięki czemu występuje jednakowość informacji w oryginale i obrazie, jakkolwiek nie ma jej w komunikatach pośrednich toru.

Pierwszy z tych przypadków jest oczywisty i nie wymaga objaśnień. Występuje on na przykład przy pomiarze kątów, w którym zamiast długości rzeczywistych wykorzystuje się długości zredukowane na zasadzie podobieństwa trójkątów. Wówczas odpowiednie kąty są jednakowe dla wszystkich pośrednich trójkątów podobnych.

Drugi z wymienionych przypadków objaśnimy za pomocą następującego przykładu. Przypuśćmy, że do pomiaru napięcia elektrycznego użyto woltomierza działającego na zasadzie sprawiającej, że wychylenia wskazówki (obrazy y) są proporcjonalne do mierzonych napięć w kwadracie (oryginałów x)

$$y = cx^k \tag{10}$$

przy czym $k = 2$. Występuje tu kod złożony z dwóch operatorów: stałej proporcjonalności c i wykładnika potęgowego k.

Dla dwóch dowolnych wychyleń y_1 i y_2 oraz odpowiadających im napięć x_1 i x_2 możemy napisać

$$y_1 = cx_1^k \tag{11}$$

$$y_2 = cx_2^k \tag{12}$$

Jeżeli potrzebną informacją jest stosunek napięć (a więc i stosunek wychyleń), to zależności między napięciami i między wychyleniami wyrażą się w postaci równań

$$x_2 = I_x x_1 \tag{13}$$

$$y_2 = I_y y_1 \tag{14}$$

Podstawiając wyrażenia (11) i (12) do równania (14) otrzymamy

$$cx_2^k = I_y cx_1^k \tag{15}$$

czyli

$$x_2 = \sqrt[k]{I_y}\, x_1 \tag{16}$$

Z porównania równań (13) i (16) wynika, że

$$I_x = \sqrt[k]{I_y} \tag{17}$$

skąd

$$I_y = I_x^k \tag{18}$$

a po uwzględnieniu $k = 2$

$$I_y = I_x^2$$

Jak widać, w omawianym przykładzie informacje zawarte w zbiorze wychyleń różnią się od informacji zawartych w zbiorze napięć. Zamiast z przenoszeniem informacji mamy tu do czynienia z przetwarzaniem informacji. Odbywa się ono według kodu, którym jest wykładnik potęgowy k. Natomiast kod, którym jest stała proporcjonalności c, nie występuje w równaniu (18), nie odgrywa więc roli.

Tak na przykład z faktu, że wychylenie wzrosło czterokrotnie, nie można by wnosić, że i napięcie wzrosło czterokrotnie, gdyż w rzeczywistości wzrosło ono tylko dwukrotnie.

Aby uzyskać zgodność informacji zawartych w obrazie z informacjami zawartymi w oryginale, trzeba wprowadzić dodatkowy proces informacyjny, będący przetwarzaniem obrazu y (tym razem traktowanego jako oryginał) w kowany obraz z, przy czym powinno się ono odbywać według kodu odwrotnego $1/k$, a więc

$$z = d\sqrt[k]{y} \tag{19}$$

przy czym d jest stałą proporcjonalności.

Wobec tego można napisać

$$z_1 = d\sqrt[k]{y_1} \tag{20}$$

$$z_2 = d\sqrt[k]{y_2} \tag{21}$$

oraz

$$y_2 = I_y y_1 \tag{22}$$

$$z_2 = I_z z_1 \tag{23}$$

Podstawiając wyrażenia (20) i (21) do równania (23) otrzymamy

$$\sqrt[k]{y_2} = I_z \sqrt[k]{y_1} \tag{24}$$

skąd

$$y_2 = I_z^k y_1 \tag{25}$$

Z porównania równań (22) i (25) wynika, że

$$I_y = I_z^k \tag{26}$$

skąd

$$I_z = \sqrt[k]{I_y} \tag{27}$$

a po uwzględnieniu $k = 2$

$$I_z = \sqrt{I_y}$$

I wreszcie z porównania równań (18) i (26) wynika, że

$$I_z = I_x \tag{28}$$

czyli, że dodatkowe przetwarzanie informacji doprowadziło do powstania obrazu zawierającego informacje zgodne z informacjami oryginału.

Takim dodatkowym przetwarzaniem informacji jest zwykle przetwarzanie wychyleń w oznaczenia cyfrowe działek na podzielni.

Tak na przykład, na podstawie wzoru (19) przy $k = 2$, $d = 1$, dla wychyleń $y_1 = 1$ mm, $y_2 = 4$ mm, $y_3 = 9$ mm itd., odpowiadających mierzonym napięciom $x_1 = 1$ V, $x_2 = 2$ V, $x_3 = 3$ V itd., otrzymuje się oznaczenia $z_1 = \sqrt{1} = 1$ V, $z_2 = \sqrt{4} = 2$ V, $z_3 = \sqrt{9} = 3$ V itd. Dzięki temu, gdy mierzone napięcie wynosi np. $x = 3$ V, to wprawdzie wskazówka woltomierza ustala się w położeniu $y = 9$ mm, ale w położeniu tym znajduje się oznaczenie $z = 3$ V dające prawidłową informację (rys. 3).

Informacją w pomiarze może być związek dowolnych wartości wielkości mierzonej, ale dla uproszczenia zapisu i ułatwienia obliczeń dogodnie jest uznać jedną z nich za jednostkę. Wówczas informacją jest stosunek dwóch elementów oryginału, z których jeden jest wartością wielkości mierzonej, drugi zaś jednostką miary.

Należy mieć na uwadze, że informacją przenoszoną w torze pomiarowym jest tylko stosunek wartości wielkości mierzonej do obranej jednostki miary, a więc sama liczba. Na przykład, jeżeli woltomierz wskazał 3 V, to nie jest to informacja, lecz komunikat zawierający informację 3, natomiast okoliczność, że chodzi tu o wolty, wynika z kodu.

Dokładność pomiaru z punktu widzenia teorii informacji

Nawet jeżeli zasada pomiaru zapewnia, że proces pomiarowy jest przenoszeniem informacji, to jednak w praktyce oprócz zjawiska, które ma być wykorzystywane do procesu sterowniczego, nie można uniknąć zjawisk postronnych wprowadzających szum informacyjny, sumujący się z informacjami użytecznymi i przetwarzany wraz z nimi. Według terminologii metrologicznej stanowi on błąd pomiaru.

Gdy szum informacyjny jest przetwarzany według określonego kodu, czyli stanowi błąd systematyczny, wówczas można wpływ jego usunąć przez zmodyfikowanie kodu przenoszenia informacji użytecznych, tj. przez wprowadzenie poprawki. Można też zwalczać szum informacyjny za pomocą informacji redundancyjnych, tj. przez powtarzanie pomiaru, pod warunkiem jednak, że powtórne pomiary zostaną przeprowadzone w innych torach informacyjnych, tzn. innymi przyrządami pomiarowymi lub nawet innymi metodami. Powtarzanie pomiarów w jednym i tym samym torze informacyjnym nie usunęłoby zjawiska postronnego będącego źródłem szumu informacyjnego.

Natomiast, gdy szum informacyjny jest przetwarzany według kodu zmieniającego się w nieokreślony sposób, czyli stanowi błąd przypadkowy, informacje redundancyjne są jedynym środkiem zwalczania szumu informacyjnego. Dlatego to powtarza się pomiary kilkakrotnie, przyjmując wartość średnią jako wynik pomiaru. Powtarzanie pomiarów może się odbywać w tym samym torze informacyjnym, skoro okoliczność ta nie ma związku z występowaniem zjawisk postronnych będących źródłem szumu informacyjnego.

Dzięki teorii informacji a w szczególności dzięki wprowadzeniu pojęcia ilości informacji, możliwe się stało sformułowanie pojęcia dokładności pomiaru.

Jak wiadomo, w metrologii używa się wyrazu „dokładność" dla wyrażenia bliżej nieokreślonej cechy mającej być przeciwieństwem błędu pomiaru. Prowadzi to do nielogicznych wyrażeń w rodzaju „klasa dokładności 0,5", „pomiar wykonano z dokładnością 2%" itp.[1]. Nielogiczność ich polega na tym, że skoro jakaś liczba określa dokładność, to im większa jest ta liczba, tym większej należałoby się domniemywać dokładności, a tymczasem jest wręcz przeciwnie. Rzecz jasna, chodzi tu o skróty myślowe (pełne wyrażenie brzmiałoby: klasa dokładności taka, że błąd nie przekracza 0,5), niemniej pozostaje faktem, że w metrologii nie powstało pojęcie dokładności jako wielkości dającej się określać liczbowo i wprowadzać do wzorów matematycznych.

Z punktu widzenia teorii informacji dokładność to największa możliwa ilość informacji, jaka może się zawierać w wyniku pomiaru jako komunikacie, czyli pojemność toru pomiarowego. Wzór na dokładność można wyprowadzić na podstawie następującego rozumowania. Stwierdzenie, że względny błąd pomiaru nie przekracza $\pm\Delta$ oznacza, że wartość wielkości mierzonej zawiera się w części zakresu pomiarowego wynoszącej 2Δ. Części takich w całym zakresie pomiarowym jest $1/2\Delta$. Jeżeli ponadto wziąć pod uwagę możliwość, że przyrząd może nic nie wskazać, to liczba wszystkich możliwych elementów komunikatu, jaki stanowią wyniki pomiarów, wynosi

$$N = \frac{1}{2\Delta} + 1 \qquad (29)$$

Wobec tego, zgodnie ze wzorem (9), dokładność wyrazi się wzorem

$$H = \lg_2\left(\frac{1}{2\Delta} + 1\right) \qquad (30)$$

Na przykład, gdy błąd wynosi ±50%, czyli $\Delta = 0,5$, to liczba możliwości wynosi $N = 2$, co oznacza, że przyrząd pomiarowy rozróżnia tylko, czy mierzona wielkość występuje czy nie. Przyrząd taki jest więc jedynie wskaźnikiem (jak np. galwanoskop), a nie miernikiem. Wynik pomiaru zawiera wówczas ilość informacji $H = 1$ bit. Jest to zarazem najmniejsza możliwa dokładność przyrządu pomiarowego.

Gdy błąd wynosi ±0,1% czyli $\Delta = 0,001$, to liczba możliwości wynosi $N = 501$, co odpowiada dokładności około $H = 9$ bitów.

Przy błędzie poniżej ±0,5% liczba możliwości przekracza 100, wobec czego składnik 1 we wzorze (30) zaczyna odgrywać coraz mniejszą rolę i może być pominięty. Wówczas dogodniej jest wyrażać dokładność w dziesiątkowych jednostkach ilości informacji, zamiast w dwójkowych (bitach). Na przykład, jeżeli przy błędzie ±0,5% przyjąć liczbę możliwości jako 100 (zamiast 101), to łatwo określić dokładność jako $H = \lg 100 = 2$ jednostki dziesiątkowe ilości informacji. Przy błędzie ±0,05% dokładność wynosiłaby $H = \log 1000 = 3$ jednostki dziesiątkowe ilości informacji itd.

1) Zgodnie z projektem normy PN N-[illegible] w tym samym znaczeniu należy używać wyrażeń „klasa niedokładności 0,5", „pomiar wykonano z niedokładnością 2%" itp., które nie są już nielogiczne (przyp. red.).

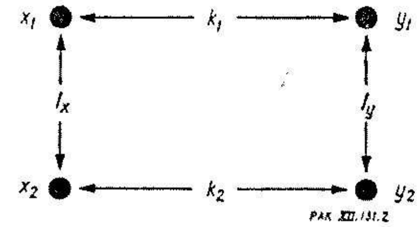
Tor pomiarowy jako człon toru sterowniczego

Opracowaniu nowych konstrukcji przyrządów pomiarowych od dawna towarzyszy tendencja do uzyskiwania coraz większych dokładności. Od paru jednak lat, w związku ze wzmożonym rozwojem automatyzacji, pojawiają się głosy poddające ten pogląd rewizji [5]. Wskazuje się przy tym na okoliczność, że w urządzeniach automatycznych tor pomiarowy jest tylko częścią toru sterowniczego i powinien mieć właściwości do niego dostosowane, m.in. pod względem pojemności i przelotności informacyjnej. Z tego też punktu widzenia należałoby rozpatrywać urządzenie pomiarowe jako tor pomiarowy złożony z torów odbierania, przetwarzania i wydawania informacji, z uwzględnieniem roli szumu informacyjnego (błędów pomiarów).

Błędy systematyczne mogą być usuwane za pomocą poprawek wprowadzanych w oparciu o automatyczne wzorcowanie co pewien czas. Wówczas błąd systematyczny przyrządu pomiarowego przestaje odgrywać rolę, a na jego miejsce wchodzi błąd systematyczny wzorca, to zaś nie jest już problemem dla wytwórni mierników, lecz dla instytucji metrologicznych odpowiedzialnych za wzorce.

Błędy przypadkowe są wprawdzie zależne od konstrukcji miernika, ale nie ma potrzeby, żeby dokładność miernika była większa od pojemności informacyjnej pozostałych części toru sterowniczego i pojemności informacyjnej samej wielkości mierzonej.

Zwiększenie dokładności mierników, których dokładność już obecnie znacznie przekracza pojemność informacyjną innych członów toru sterowniczego, mija się z celem, gdyż



Rys. 3. Przykład pomiarowy dwukrotnego przetwarzania informacji równoważnego przenoszenia informacji: x — wielkość mierzona (oryginał), y — wychylenie wskazówki (komunikat pośredni), z — wskazanie (obraz)

pojemność informacyjna całego toru sterowniczego jest wyznaczona przez człon o najmniejszej pojemności informacyjnej. Należy przy tym mieć na uwadze, że przy „wyśrubowanej" już dokładności uzyskanie dalszego jej zwiększenia wymaga niewspółmiernie dużych nakładów.

Natomiast racjonalnie jest dążyć do zwiększania pojemności informacyjnej najbardziej pod tym względem zaniedbanych członów torów sterowniczych, gdyż przyczyni się to do zwiększenia pojemności informacyjnej całych torów, a poza tym, wobec niewyczerpania wielu jeszcze środków, może wymagać niezbyt dużych nakładów.

Jak się wydaje, rozwój teorii informacji stwarza interesujące perspektywy dla metrologii i związanych z nią dziedzin.

LITERATURA

[1] *Brillouin L.*: Science and information theory. New York, 1956, Academic Press.

[2] *Mazur M.*: Matematyczna definicja informacji. PAK, 1965, nr 4.

[3] *Mazur M.*: O istocie informacji. Problemy Inwestowania i Rozwoju, 1966, nr 3 (IOMB).

[4] *Mazur M.*: Cybernetyczna teoria układów samodzielnych. Warszawa, 1966, PWN.

[5] *Nowickij P. W.*: Ispolzowanije kibierneticzeskich ponjatij w teorii elektroizmieritielnych ustrojstw. Izmieritielnaja Technika, 1962, nr 1.

[6] *Shannon C. E., Weaver E.*: Mathematical theory of communication. Urbana, 1949, (University of Illinois Press).