

# SAMOUCZĄCA SIĘ MASZYNA MOTORYCZNA

Waldemar Wietrzykowski

Digital Intelligence Laboratory, maj 2017

Streszczenie w niniejszej pracy przedstawiono matematyczne podstawy samouczących się maszyn motorycznych oraz pokazano, jak istotne mają znaczenie, kiedy współpracują z samouczącą się maszyną interpretacyjną.

Abstract in this work is presented the mathematical basics of the self-learning motor machines and is shown how important they are meaning when they interact with a interpretative self-learning machine.

Omawiane do tej pory, w pracach 1 – 9, samouczące się maszyny należą do maszyn *interpretacyjnych*, dzięki którym jednostka “wiele maszyn” zdaje sobie sprawę ze zjawisk wewnętrznych i zewnętrznych. Aby dodatkowo jednostka ta była w stanie reagować na te zjawiska potrzebne są jeszcze samouczące się maszyny *motoryczne*.

Samoucząca się maszyna *motoryczna*, w skrócie maszyna *motoryczna*, przypomina maszynę *jednofunkcyjną* (2), lecz zamiast przechowywać zapamiętane sygnały generowane przez otaczającą rzeczywistość przechowuje zapamiętane sygnały sterujące *elementami wykonawczymi*. Zbiór *elementów wykonawczych* związanych z konkretną maszyną *motoryczną* nazywamy *jednostką motoryczną*.

Charakterystyczną cechą maszyny *motorycznej* jest to, że wywołanie jej powoduje jednoczesną reakcję motoryczną wszystkich *elementów wykonawczych*, które do niej należą. Z tej to przyczyny maszynę *motoryczną* można również nazwać *jednostką motoryczną*.

Rozważmy abstrakcyjną samouczącą się maszynę, która na etapie uczenia się działa na strukturze opisanej jednowartościową funkcją wyjściową  $m()$  zwaną maszyną *motoryczną*, w sposób następujący:

$$Y = m(U)$$

gdzie:

$$U = (u)$$

$$Y = (r, i)$$

w której funkcja wyjściowa  $m(U)$  wyznacza dla wejściowego sygnału sterującego  $U$ , uczącego maszynę *motoryczną*, taką wartość wyjściową, która spełnia:

$$U.(u) = Y.(r)$$

Dla zapamiętanego sygnału sterującego  $Y.(r)$  przydzielany jest element wykonawczy o indeksie  $Y.(i)$ , który ten sygnał realizuje.

Ponadto funkcja wyjściowa  $m(U)$  spełnia warunek jednoznaczności oznaczający, że dla każdego sygnału sterującego  $U$  wartości funkcji wyjściowej  $Y.(r)$  nie powtarzają się lub są puste (gotowe do przyjęcia wartości). Oznacza to, że jeżeli wartości  $Y.(r)$  nie są puste, to nie powtarzają się.

Oznaczenia:

- $U$  – jest wektorem złożonym w chwili  $t$  z wartości wejściowych sygnałów sterujących uczących maszynę *motoryczną*, zwany sygnałem sterującym.
- $Y$  – jest wektorem złożonym z zapamiętanych wartości sygnałów sterujących  $Y.(r)$  oraz indeksu maszyny wykonawczej  $Y.(i)$ .

Dodać należy, że wektory  $U$ ,  $Y$  składać się mogą z większej ilości wartości niż wskazano, lecz uczyniono to celowo dla możliwości

najprostszego objaśnienia istoty uczenia się maszyny.

Jak z powyższego wynika maszyna *motoryczna* na etapie uczenia się zapamiętuje wejściowe sygnały sterujące uczące i przydziela im *elementy wykonawcze*, które te sygnały sterujące mają realizować.

Ponadto wywołanie maszyny powoduje jednoczesną reakcję motoryczną wszystkich *elementów wykonawczych*, które do niej należą.

Wydaje się, że maszyny *motoryczne* są dość ubogie, jeżeli chodzi o realizowaną przez nie funkcję. Jednakże nabierają one istotnego znaczenia, jeżeli współpracują z samouczącą się maszyną *interpretacyjną*.

Samouczącą się maszyną *interpretacyjną* współpracującą z maszynami *motorycznymi* nazywamy maszyną *interpreto-motoryczną*.

Maszyna *interpreto-motoryczna* wprowadza modyfikację definicji maszyny *interpretacyjnej* omówionej w pracy (1).

Na etapie uczenia się maszyny *interpreto-motorycznej* jest ona opisana funkcją wejściową  $g()$  działającą na strukturze opisanej funkcjami wyjściowymi  $h[]()$ , zwanymi maszynami *jednofunkcyjnymi*, w sposób następujący:

$$i = g(X, U, D, Q, Us) \\ Y = h[i](X)$$

gdzie:

$$Y = (y, \delta, s, j \rightarrow m(Us))$$

lub z zastosowaniem automatycznego indeksu maszyny *jednofunkcyjnej*

$$i_t = g(X, U, D, Q, Us) = Y_{t-1} \cdot (i_t) \\ Y_t = h[i_t](X)$$

gdzie:

$$Y_{t-1} = (y, \delta, s, i_t, j \rightarrow m(Us)), \\ Y_t = (y, \delta, s, i_{t+1}, j \rightarrow m(Us))$$

$Us$  – wektor sygnałów sterujących uczących aktywowaną maszyną *motoryczną*,

$j$  – indeks maszyny *motorycznej*,

$j \rightarrow m(Us)$  – wywołanie maszyny *motorycznej*  $m()$  o indeksie  $Y \cdot (j)$  i przesłanie do niej sygnału sterującego  $Us$  w celu jego zapamiętania wraz z przydzieleniem odpowiedniego *elementu wykonawczego*.

$i$  – indeks maszyny *jednofunkcyjnej*

Ponieważ dla tej samej aktywowanej przez maszynę *interpretacyjną* wartości wyjściowej  $Y$  może przypaść wiele różnych sygnałów sterujących  $Us$ , zapamiętywane są one w kolejnych *elementach wykonawczych* maszyny *motorycznej*, która jest przyporządkowana wartości wyjściowej  $Y$ .

Na etapie eksploracji zgromadzonej wiedzy maszyna *interpreto-motoryczna* jest opisana następująco:

$$i = g(X, D, Q, Us) \\ Y = h[i](X)$$

gdzie:

$$Y = (y, \delta, s, j \rightarrow m(Us))$$

lub z zastosowaniem automatycznego indeksu maszyny *jednofunkcyjnej*

$$i_t = g(X, D, Q, Us) = Y_{t-1} \cdot (i_t) \\ Y_t = h[i_t](X)$$

gdzie:

$$Y_{t-1} = (y, \delta, s, i_t, j \rightarrow m(Us)), \\ Y_t = (y, \delta, s, i_{t+1}, j \rightarrow m(Us))$$

Na etapie eksploracji zgromadzonej wiedzy maszyna *motoryczna* po jej wywołaniu powoduje jednoczesną reakcję motoryczną wszystkich *elementów wykonawczych*, które do niej należą.

W powyższym zapisie brak jest sygnału uczącego  $U$  dla maszyny *interpretacyjnej*, występuje jednak w dalszym ciągu uczenie się maszyn *motorycznych* o czym świadczy obecność sygnału  $Us$ . Taki stan nazywamy *precyzowaniem motorycznych* reakcji maszyny *interpreto-motorycznej*.

Oznacza to, że pomimo dysponowania już wiedzą przez maszynę *interpretacyjną*, proces uczenia się maszyn *motorycznych* może w dalszym ciągu przebiegać.

Jeżeli maszyny *motoryczne* również zostają nauczone, to maszyna *interpreto-motoryczna* opisana jest następująco:

$$i_t = g(X, D, Q) = Y_{t-1} \cdot (i_t) \\ Y_t = h[i_t](X)$$

gdzie:

$$Y_{t-1} = (y, \delta, s, i_t, j \rightarrow m()), \\ Y_t = (y, \delta, s, i_{t+1}, j \rightarrow m())$$

W powyższym zapisie nie występuje już ani sygnał uczący maszynę *interpretacyjną* U, ani sygnał uczący maszyny *motoryczne* Us.

Maszyny *motoryczne* wprowadzają do maszyny *interpretacyjnej* nowe możliwości. Prześledźmy zgromadzone do tej pory w pracach (1 – 9) informacje dotyczące maszyny *interpretacyjnej* i wskaźmy, jaki będzie wpływ przyłączonych do niej maszyn *motorycznych*.

W pracy (1) zdefiniowano samouczącą się maszynę jako abstrakcyjną maszynę złożoną z funkcji jednowartościowych (z pominięciem miejsc, dla których nie przydzielono w nich wartości) zwanych maszynami *jednofunkcyjnymi*. Po przyłączeniu do niej maszyn *motorycznych*, na jej wejściu pojawia się dodatkowy sygnał wejściowy sterujący Us przeznaczony do uczenia maszyn *motorycznych*, a wyjściowe wektory Y maszyny *jednofunkcyjnej* zostają wzbogacone o dodatkową wartość, jaką jest indeks maszyny *motorycznej*. W ten sposób do maszyny *interpretacyjnej* może być przyłączonych tyle maszyn *motorycznych* ile jest wartości wyjściowych należących do maszyn *jednofunkcyjnych*, z których to maszyn składa się maszyna *interpretacyjna*.

Cechą charakterystyczną powstałej maszyny *interpreto-motorycznej* jest nie tylko zdolność do uczenia się interpretacji otaczającej rzeczywistości, ale również zdolność do uczenia się motorycznego reagowania na wyuczone interpretacje.

Z pracy (2) wynika, że jeżeli na wejście maszyny *interpretacyjnej* podamy sygnał zespolony złożony z sygnału wejściowego X i sygnału uczącego U, który spowoduje przełączenie na inną maszynę *jednofunkcyjną*, to taki sygnał nazywa się *przełącznikiem*. Jeżeli natomiast sygnał zespolony spowoduje przełączenie na tą samą maszynę *jednofunkcyjną*, to taki sygnał nazywa się *nie-przełącznikiem*.

Należy zauważyć, że dodanie sygnału sterującego Us nic nie zmieni w odbiorze otaczającej rzeczywistości przez maszynę *interpretacyjną*, gdyż Us odnosi się tylko do uczenia przyłączonych do wyjścia maszyny *interpretacyjnej* maszyn *motorycznych*. Jednakże umożliwi reagować na odbieraną rzeczywistość.

W pracy tej wskazano, że *przełączniki* i *nie-przełączniki* tworzą w maszynach *jednofunkcyjnych* obrazy (będące ich wartościami) zwane *krawędziami* i *nie-krawędziami*.

Należy zauważyć, że *przełączniki* i *nie-przełączniki* poprzez *krawędzie* i *nie-krawędzie* pobudzają maszyny *motoryczne* do motorycznego działania.

Ponadto sygnały *nie-przełączniki*, aż do napotkania sygnału *przełącznika* i sam ten *przełącznik*, tworzą obrazy składające się z *nie-krawędzi* oraz jednej *krawędzi* należących jeszcze do tej samej maszyny *jednofunkcyjnej*. Z pojedynczą *krawędzią* lub *nie-krawędzią* jest związana z kolei pojedyncza maszyna *motoryczna*. Powoduje to, że z maszyną *jednofunkcyjną* związany jest kompleks współpracujących z nią maszyn *motorycznych*.

W pracy tej (2) zauważono też, że na dobór wartości maszyn *jednofunkcyjnych* w postaci *krawędzi* i *nie-krawędzi* mają wpływ jedynie *przełączniki* w ten sposób, że do momentu wystąpienia sygnału *przełącznika* wszystkie kolejne sygnały są *nie-przełącznikami* i wyznaczają wartości tej samej maszyny w postaci *nie-krawędzi*. Dopiero po wystąpieniu sygnału *przełącznika*, który tworzy jeszcze obraz (*krawędź*) w tej samej maszynie *jednofunkcyjnej*, kolejne sygnały wyznaczają wartości już w innej (przełączonej) maszynie *jednofunkcyjnej*.

Wysunięto stąd przekonanie, że sygnały pochodzące z otaczającej rzeczywistości tworzą odpowiednią dla siebie strukturę samouczącej się maszyny *interpretacyjnej*, która staje się ich reprezentacją, a ponadto wbudowane w tą strukturę odniesienia do maszyn *motorycznych*, tworzą odpowiadającą strukturę maszyn *motorycznych*, która staje się z kolei reprezentacją motorycznego zachowania maszyny na sygnały pochodzące z otaczającej rzeczywistości.

Należy zauważyć, że dla tej samej struktury maszyny *interpretacyjnej* i współdziałających z nią maszyn *motorycznych* mogą powstawać różne struktury *elementów wykonawczych* w obrębie tych samych maszyn *motorycznych*. Zjawisko to nosi nazwę *motorycznego precyzowania*. Struktury *elementów wykonawczych* uzależnione są bowiem od wejściowych sygnałów sterujących *Us*, uczących maszyny motoryczne, które są z kolei przyporządkowane wartościom wyjściowym maszyn *jednofunkcyjnych*. W ten sposób jedna struktura maszyny *interpretacyjnej* może być związana z wieloma podobnymi do siebie strukturami *elementów wykonawczych*.

W pracy tej ustalono, że na podstawie struktury maszyny *interpretacyjnej* (czyli określonej interpretacji) oraz dowolnego sygnału wejściowego *X* można utworzyć sygnał uczący *U*. W maszynach *interpreto-motorycznych* można ponadto odtworzyć odpowiednią reakcję maszyn *motorycznych* na ten sygnał wejściowy.

W pracy (2) zauważono, że wartości maszyny *jednofunkcyjnej* są obrazami alternatywnych sygnałów, które mogą się pojawić na wejściu samouczącej się maszyny, aż do natrafienia na sygnał - *przełącznik* tworzący w tej maszynie *krawędź*, który przełączy maszynę na inną maszynę *jednofunkcyjną*. Alternatywne sygnały, które mogą wystąpić po pojawieniu się sygnału *przełącznika* utworzą w strukturze maszyny *jednofunkcyjnej* jedną interpretację odpowiadającą różnym sekwencjom sygnałów wejściowych, zamiast konkretnej sekwencji tych sygnałów. Utworzona w ten sposób jedna

interpretacja, na podstawie jednego ciągu sygnałów wejściowych, może być tożsama z interpretacją innych ciągów sygnałów wejściowych, z którymi maszyna się jeszcze nie zetknęła. To samo przenosi się na maszyny *interpreto-motoryczne*, które mogą nie tylko poprawnie interpretować sygnały z którymi maszyna się jeszcze nie zetknęła, ale również poprawnie na nie motorycznie reagować i to w taki sposób, w jaki nigdy nie miała jeszcze sposobności reagować.

W pracy (3) wprowadzono pojęcie *interpretacji* rozumianej jako proces czynności prowadzących do zrozumienia pewnego zjawiska oraz zastosowano ją do samouczącej się maszyny, iż *interpretacja* musi być ugruntowana w pewnej strukturze, która wzorowana na rzeczywistości jest z nią zgodna i niesprzeczna, a taką strukturą jest struktura oparta na maszynach *jednofunkcyjnych*. W maszynach *interpreto-motorycznych* interpretacja prowadzi nie tylko do rozumienia pewnego zjawiska, ale również do właściwej reakcji na to zjawisko. Zrealizowane jest to w strukturze maszyny *interpretacyjnej* poszerzonej o maszyny *motoryczne*, która to struktura wzorowana na rzeczywistości, wywołuje również reakcję na tą rzeczywistość w sposób zgodny i niesprzeczny, a taką strukturą jest struktura oparta na maszynach *jednofunkcyjnych* i wbudowanych w nie odniesieniach do maszyn *motorycznych* wyposażonych w *jednostki motoryczne* złożone z *elementów wykonawczych*.

W pracy (4) zauważono, że *interpretacja* ugruntowana w strukturze maszyn *jednofunkcyjnych* nie zależy od egzemplarza uczącej się maszyny, jej realizacji i technologii wykonania lecz otaczającej rzeczywistości. To samo dotyczy struktury maszyny *interpreto-motorycznej*. Ponadto można kopiować tą strukturę od jednej maszyny do innej bez wpływu na jej funkcjonowanie, a jeżeli brak w maszynie interfejsu umożliwiającego kopiowanie, to strukturę można przenosić w sposób naturalny drogą uczenia.

W pracy (7) wprowadzono pojęcia *krawędzi* i *nie-krawędzi*, które zdefiniowano

następująco: sygnał wejściowy X i uczący U, który powoduje przełączenie na inną maszynę jednofunkcyjną (*przełącznik*) daje na wyjściu samouczącej się maszyny odpowiedź zwaną *krawędzią* (lub obrazem *przełącznika*), natomiast sygnał wejściowy X i uczący U, który powoduje przełączenie na tą samą maszynę jednofunkcyjną (*nie-przełącznik*) daje na wyjściu samouczącej się maszyny odpowiedź zwaną *nie-krawędzią* (lub obrazem *nie-przełącznika*). W maszynach *interpreto-motorycznych* pojedyncza *krawędź* lub *nie-krawędź* posiada odniesienie do odpowiadającej jej maszyny *motorycznej*.

W pracy tej osiągnięto przekonanie, że *przełączniki* i *nie-przełączniki* zależą jedynie od kształtującej je rzeczywistości, a nie zależą od technologii wykonania maszyny ani jej egzemplarza, natomiast *krawędzie* i *nie-krawędzie* są nabywane przez samouczącą się maszynę w drodze jej uczenia się *przełączników* i *nie-przełączników* występujących w rzeczywistości.

Ponadto stwierdzono, że *krawędzie* mają bardzo duże znaczenie w wykrywaniu obiektów występujących w rzeczywistości w sposób niezależny od maszyny a *nie-krawędzie* niosą dodatkową informację dotyczącą wypełnienia między *krawędziami*, skąd interpretację rzeczywistości w oparciu o *krawędzie* możemy podzielić na interpretację *krawędziową* i interpretację *nie-krawędziową*. W maszynach *interpreto-motorycznych* z wykryciem obiektu związana jest również odpowiednia reakcja na ten obiekt, która może być reakcją poszerzoną (wzbogaconą) w zależności od dodatkowej informacji dostarczonej przez *nie-krawędzie*.

Podsumowano też, że interpretacja *krawędziowa* jest naturalną formą interpretacji dokonywanej przez samouczącą się maszynę i ma bardzo wiele zalet. To samo przenosi się na

maszynę *interpreto-motoryczną*, w której *krawędzie* wywołują dodatkowo naturalne formy motorycznej reakcji na otaczające środowisko.

W pracy (8) wskazano na pewną właściwość dotyczącą interpretacji dokonywanej przez samouczącą się maszynę, a mianowicie na możliwość scalania się interpretacji dokonywanych przez wiele samouczących się maszyn (w odniesieniu do tego samego obrazu rzeczywistości, w tym samym czasie) w jeden *percept*. W maszynach *interpreto-motorycznych* scalaniu się interpretacji różnych maszyn w jeden *percept* towarzyszy scalanie się różnych, współtowarzyszących i uzupełniających, zachowań motorycznych w jedno ogólne działanie.

#### Bibliografia

1. Waldemar Wietrzykowski, *Samoucząca się maszyna*, DIL 2016
2. Waldemar Wietrzykowski, *Jednofunkcyjne maszyny*, DIL 2016
3. Waldemar Wietrzykowski, *Interpretacje maszyn*, DIL 2016
4. Waldemar Wietrzykowski, *Znaczenie interpretacji maszyn*, DIL 2017
5. Waldemar Wietrzykowski, *Wiele maszyn*, DIL 2017
6. Waldemar Wietrzykowski, *Świadomość wielu maszyn*, DIL 2017
7. Waldemar Wietrzykowski, *Obraz rzeczywistości z poziomu maszyny*, DIL 2017
8. Waldemar Wietrzykowski, *Scalanie interpretacji maszyn*, DIL 2017
9. Waldemar Wietrzykowski, *Strumień świadomości*, DIL 2017