

Uwagi do strategicznego programu sztucznej inteligencji w Polsce. Podstawy uczenia maszynowego, informatyka kognitywna i technologie neurokognitywne.

Włodzisław Duch, Katedra Informatyki Stosowanej i Laboratorium Neurokognitywne,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.

Uwagi wstępne:

Sztuczna inteligencja jest terminem rozumianym obecnie bardzo szeroko, obejmuje wiele idei wywodzących się z informatyki, ale od początku związana była z licznymi naukami szczegółowymi. W latach 1960-80 powstawały pierwsze systemy doradcze, rozwinięte przy aktywnej współpracy z środowiskiem medycznym, chemikami, geologami. Klasyczna sztuczna inteligencja opierała się na szukaniu heurystycznym, rozumowaniu symbolicznym, logice i metodach wnioskowania. Umożliwiło to rozwój licznych zastosowań opartych na systemach regułowych. Wiele zastosowań wymagających analizy sygnałów, mowy, obrazów, znaczenia wypowiedzi językowych pozostawało jednak poza możliwościami takich systemów. Ograniczenia te udało się przewyciężyć dopiero w XXI wieku dzięki postępowi w kilku dziedzinach: rozwojowi metod uczenia maszynowego, a w szczególności sieci neuronowych, większym możliwościom obliczeniowym, użyciem wyspecjalizowanych procesorów graficznych (GPU) do obliczeń numerycznych, a ostatnio również neuromorficznym obwodom scalonym, które zwiększają możliwości tworzenia złożonych sieci neuronowych o rzędy wielkości, oraz dostępowi do wielkich zbiorów danych. Otworzyło to drogę do zupełnie nowych aplikacji i zwiększyło zainteresowanie najważniejszych firm komputerowych, takich jak IBM, Google, Microsoft, czy Amazon oferujących softwarowe narzędzia do budowania modeli „głębokiego uczenia” maszynowego, czyli bardzo złożonych modeli odkrywanych w strukturach danych.

Najważniejsze obecnie technologie sztucznej inteligencji to połączenie możliwości analizy sygnałów (obrazów) i rozumowania opartego na heurystycznych metodach rozumowania, a więc połączenie technik stosowanych w systemie IBM Watson z metodami głębokiego uczenia w zastosowaniu do dużych zbiorów danych. Pozwala to na aplikacje wykorzystujące analizę obrazów, diagnostykę medyczną, analizę obrazów satelitarnych, kontrolę autonomicznych pojazdów i wiele innych aplikacji wymagających zarówno rozpoznawania struktur (percepcji) jak i rozumowania wykorzystującego percepcję. W dalszym ciągu takie systemy mają jednak liczne ograniczenia a ich rozumienie rzeczywistych problemów jest dalekie od poziomu przeciętnego człowieka. Wymaga to intensywnych badań podstawowych, co wyraźnie podkreślone zostało w strategiach rozwoju sztucznej inteligencji wielu krajów. Dlatego **kluczową sprawą dla sukcesu każdej strategii związanej z AI jest dobra edukacja.** Oprogramowanie jest znacznie bardziej złożone niż projektowanie mostów, dlatego nie dostajemy na nie podobnej gwarancji jak na konstrukcje budowlane. Jednakże za budowę systemów AI zabierają się osoby, które często nie przeszły podstawowych kursów AI ani nie przeczytały dobrego podręcznika.

Poniżej przedstawiam kilka wybranych tematów rozwijanych w moim zespole. Wszystkie mają wielki potencjał komercyjny jako technologie podstawowe jak i aplikacyjne.

Najważniejsze dotychczasowe osiągnięcia, możliwości dalszego rozwoju i potencjalne korzyści.

1. Meta-learning

Problem: liczba pakietów oprogramowania do uczenia maszynowego na rynku jest bardzo duża, można za ich pomocą dokonać analizy danych na miliony sposobów. Budowa modeli przy pomocy

typowych systemów uczących się wymaga dużej wiedzy i polega na ręcznym konstruowaniu modelu, wstępnego przygotowania danych, selekcji cech, wyboru metody i szczegółowej architektury systemu uczącego, a następnie nauczeniu jego parametrów na zgromadzonych danych. Około 20 lat temu zaproponowałem rozwiązanie tego problemu za pomocą meta-uczenia, czyli poszukiwania najlepszych modeli w przestrzeni wszystkich modeli, a po wyborze najbardziej obiecujących modeli standardowego douczania parametrów. Potrzebna jest do tego duża moc obliczeniowa, którą obecnie dysponujemy. Napisaliśmy na ten temat wiele artykułów i wygłosiliśmy wiele referatów na najlepszych konferencjach światowych, formułując różne rozwiązania problemu szukania najlepszych modeli na meta-poziomie, opisane w 3 książkach:

- Grąbczewski K, Meta-Learning in Decision Tree Induction, Springer 2014.
- Jankowski N, Duch W, Grąbczewski K, Meta-learning in Computational Intelligence. Springer 2011.
- Jankowski N. Meta-uczenie w inteligencji obliczeniowej. Warszawa, Polska: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2011.

Stworzyliśmy również (główni projektanci to dr hab. N. Jankowski i dr hab. K. Grąbczewski) oprogramowanie Intemi, które definiuje przestrzeń i proces szukania najlepszych modeli w oparciu o analizę złożoności. Jest to w dalszym ciągu najbardziej zaawansowanej podejście do automatyzacji tworzenia użytecznych modeli uczenia maszynowego przydatnych w sztucznej inteligencji. W październiku 2018 grupa uczenia maszynowego firmy Amazon zorganizowała w Berlinie zamkniętą konferencję na temat meta-uczenia.

Korzyści: znaczne ułatwienie tworzenia modeli danych bez głębokiej znajomości uczenia maszynowego. Takie podejście może się stać podstawą do dalszego szybkiego rozwoju zastosowań uczenia maszynowego w wielu projektach sztucznej inteligencji.

2. Podstawy i interpretowalność modeli uczenia maszynowego.

Jednym z najważniejszych obecnie problemów jest tworzenie interpretowalnych modeli i zrozumienie podstaw działania uczących maszyn. Liczne propozycje rozwiązań tych problemów przedstawione zostały w dłuższej publikacji:

Duch W, Towards comprehensive foundations of computational intelligence. Challenges for Computational Intelligence. Springer Studies in Computational Intelligence Vol. 63, 261-316, 2007.

W szczególności opracowaliśmy modele nadające się do analizy trudnych projektów o złożonej wewnętrznie logice (highly non-separable problems) oparte na nowych celach uczenia się (k-separowalności zamiast liniowej separowalności), maszyny wsparcia cech (Support Features Machines zamiast Support Vector Machines), jak też alternatywę dla systemów rozmytych (fuzzy logic) opartą na prototypach i uczeniu opartym na podobieństwie. Podejścia te mają liczne przewagi w stosunku do powszechnie stosowanych w AI metod logiki rozmytej i w ostatnich latach są na nowo odkrywane przez ekspertów od uczenia maszynowego, ze względu na możliwości interpretacji sieci neuronowych z nowymi funkcjami transferu neuronów.

- Duch W and Diercksen GHF, Feature Space Mapping as a universal adaptive system. Computer Physics Communications 87 (1995) 341-371
- Duch W, Similarity based methods: a general framework for classification, approximation and association, Control and Cybernetics 29 (4) (2000) 937-968
- Duch W, Adamczak R, Diercksen G.H.F, Classification, Association and Pattern Completion using Neural Similarity Based Methods. Applied Mathematics & Computer Science 10 (2000) 101-120

Interpretacja modeli uczenia maszynowego nie zawsze jest możliwa; dwa najważniejsze podejścia to ekstrakcja reguł logicznych opisująca działania takich modeli i wizualizacja ich działania. Liczne metody pozwalające na zrozumienie struktur danych zostały opisane w dwóch publikacjach, które mają łącznie około 600 cytowań:

- Duch W, Setiono R, Zurada J.M, Computational intelligence methods for understanding of data. Proceedings of the IEEE 92(5) (2004) 771- 805
- Duch W, Adamczak R, Grąbczewski K, A new methodology of extraction, optimization and application of crisp & fuzzy logical rules. IEEE Transactions on Neural Networks 12 (2001) 277-306

W wielu przypadkach funkcje realizowane przez sieci neuronowe i inne modele uczenia maszynowego są zbyt skomplikowane by dały się przedstawić w zrozumiały sposób, można natomiast przedstawić graficznie wyniki ich działania i upewnić się, że są to rozwiązania stabilne i bezpieczne. Rozwiązuje to szeroko obecnie dyskutowany problem „czarnej skrzynki”, który ogranicza zastosowania AI w dziedzinach wymagających pewności i stabilności przewidywań.

Duch, W, Coloring black boxes: visualization of neural network decisions. International Joint Conference on Neural Networks, Portland, USA, IEEE Press, Vol. I, str. 1735-1740, 2003.

Rezultaty tych prac zostały częściowo skomercjalizowane dzięki współpracy naszego spin-offu Duch-Soft, który stworzył software GhostMiner sprzedawany przez firmę Fujitsu FQS Poland¹ i obecnie jest wmontowany w różne produkty „business intelligence” tej firmy.

3. Informatyka neurokognitywna i kognitywna.

Aplikacje sztucznej inteligencji, które wykorzystują naturalne sposoby komunikacji, odwołując się do naszych zdolności poznawczych na poziomie psychologicznym określane są mianem aplikacji kognitywnych. IBM określa swoją technologię Watson jako „kognitywne obliczanie” (cognitive informatics). Konferencje IEEE International Conference on Cognitive Informatics odbywają się od 2002 roku. Pokrewna dyscyplina określana jako „kognitywna infokomunikacja” (CogInfoCom lub Cognitive Informatics) skupia się na komunikacją pomiędzy człowiekiem i systemami informatycznymi, oraz wynikającymi stąd aplikacjami. Pierwsza konferencja na ten temat odbyła się w Tokio w 2010 roku. Poziom funkcji neuropsychologicznych jest nieco głębszy a inspiracje dla AI z niego czerpane określić można jako informatykę neuropsychologiczną, która jest znacznie słabiej rozwinięta ale będzie miała w przyszłości ogromne znaczenie. Takie podejścia są bardzo istotną częścią sztucznej inteligencji.

Większość dużych firm oferuje obecnie „osobistych asystentów”: Amazon Alexa, Google Assistant, Apple Siri, Samsung Bixby, Microsoft Cortana i wiele innych. To przykład informatyki kognitywnej, gdzie techniki sztucznej inteligencji stosowane są do zrozumienia mowy i tworzenia prostych modeli wiedzy odnoszącej się do oczekiwań użytkownika, często wykorzystując architektury kognitywne, czyli budując oprogramowanie w oparciu o pewien model działania naturalnych układów poznawczych, często inspirowanych przez ogólną budowę mózgu (BICA, Brain Inspired Cognitive Architectures). Przegląd takich architektur jest np. w pracy:

Duch W, Oentaryo R.J, Pasquier M, Cognitive architectures: where do we go from here? W: Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 171, IOS Press, pp. 122-136.

Brakuje polskojęzycznych wersji osobistych asystentów, ze względu na słaby rozwój sztucznej inteligencji w zakresie metod przetwarzania języka naturalnego dla języka polskiego. Konieczne jest tu

¹ <https://www.g6g-softwaredirectory.com/ai/data-mining/20154-FQS-Poland-Fujitsu-GhostMiner.php>

zrozumienie składni i sensu zapytań. Wykłady na ten temat prowadziłem już w 2005 roku². Stworzenie takiego interfejsu nazwanego HIT (od Humanized InTerfaces) na urządzenia mobilne proponowałem w 2004 roku w Singapurze, łącznie z graficznym awatarem, który mógłby reprezentować w określonych sytuacjach swojego właściciela. Po rozpoznaniu kategorii zapytania program miał wywołać odpowiednią wyspecjalizowaną aplikację pozwalającą na interakcję głosową, dotykową lub wykorzystującą gesty. Użycie technologii Q/A (question/answer) podobnej do gry w 20 pytań pozwalało uściślić tematykę. W szczególności planowaliśmy zarówno aplikacje edukacyjne, testy pozwalające ocenić wiedzę na różnym poziomie, porady dotyczące zdrowia i wiele innych. Niestety projekt ten nie został wówczas sfinansowany, ale nadal jest tu dużo możliwości tworzenia ambitnych aplikacji. Na razie takie funkcje realizowane są w dość prymitywny sposób w istniejących wersjach osobistych asystentów a domowych systemach (Alexa) lub smartfonach. Sporo firm oferuje obecnie opartą na NLP technologię składania zamówień czy automatycznego doradzania rozwiązań problemów, zgłaszanych zwykle do call centers.

4. Informatyka neurokognitywna

Na stronie firmy Google DeepMind, lidera w obszarze Sztucznej Inteligencji, jest artykuł³ "AI and Neuroscience: A virtuous circle", w którym czytamy: the need for the field of neuroscience and AI to come together is now more urgent than ever before. Informatyka neurokognitywna⁴ jest inspirowana bardziej przez procesy neuronalne zachodzące w mózgu niż przez zrozumienie procesów kognitywnych na poziomie psychologicznym. Można tu zaliczyć symulacje pamięci asocjacyjnych, sieci rozchodzących się aktywacji w analizie naturalnego języka, czy procesy uczenia się w sieciach biologicznych z rekurencją, w tym modelowanie procesów zachodzących w mózgu za pomocą sieci neuronowych i głębokiego uczenia. W ostatnich latach nastąpił ogromny postęp w analizie sygnałów pochodzących z różnych metod neuroobrazowania jak i pomiarów za pomocą EEG wysokiej rozdzielczości (High Density EEG). Takimi zagadnieniami zajmuje się neuroinformatyka, rozwijana przez ośrodki współpracujące w ramach International Neuroinformatics Coordination Facility (INCF) w krajach OECD. Skanowanie fMRI pozwala obecnie na odczytywanie obrazów, które widzimy, wyobrażamy sobie lub śnimy. Potrafimy nie tylko odczytać z aktywności mózgu stany emocjonalne, rozproszenie uwagi i brak koncentracji, ale również coraz lepiej konkretne pojęcia, o których myślimy lub je sobie wyobrażamy.

W efekcie doprowadzi to do rewolucji w interfejsach mózg-komputer, diagnozach i terapii chorób psychicznych, a nawet przenoszenia niektórych umiejętności z mózgu eksperta do mózgu studenta. Program Intific Neuro-EST, czyli Engagement Skills Trainer już jest stosowany do treningu armii USA. Analiza EEG wskazuje na pobudzone obszary mózgu a wielokanałowa stymulacja prądowa (HD-DCS) lub przezczaszkowa stymulacja magnetyczna (rTMS) wywołuje odpowiednie aktywacje w mózgu u studenta. DARPA realizuje od 2017 roku program "Targeted Neuroplasticity Training", którego zadaniem jest wspomaganie uczenia się wielu umiejętności, w tym nauki języków obcych, kryptografii, czy metod analizy informacji potrzebnych wywiadowi (intelligence analytics). Wykrywanie podejrzanych struktur na obrazach lub w czasie obserwacji w czasie rzeczywistym znacznie się poprawia jeśli zastosować metodę neurofeedback do zwracania uwagi na podstawie reakcji mózgu, która może nie zostać świadomie zauważona. Metody takie dały dobre rezultaty również w systemach rekomendujących przeglądane informacje w Internecie („natural brain-information interfaces”).

Wiele zastosowań informatyki neurokognitywnej dotyczyć będzie metod neuromodulacji. Obecnie stosowane są liczne metody głębokiej stymulacji w przypadku choroby Parkinsona i wielu innych,

² "Świat Bytów Wirtualnych", <http://www.is.umk.pl/~duch/Wyklady/index.html>

³ <https://deepmind.com/blog/ai-and-neuroscience-virtuous-circle/>

⁴ Duch W, Neurocognitive Informatics Manifesto. In: Series of Information and Management Sciences, California Polytechnic State University, 8th Int Conf on Information and Management Sciences (IMS 2009), Kunming-Banna, Yunan, China, pp. 264-282.

stymulacje nerwu błędnego, różne metody stymulacji w przypadku depresji czy przewlekłego bólu (zajmuje się tym Polskie Towarzystwo Neuromodulacji, jak i Polskie Towarzystwo Badania Bólu). Otwierają się również możliwości diagnozy i terapii problemów psychosomatycznych. Znaczna część problemów psychicznych wynika z nieprawidłowego przepływu informacji w mózgu, zbyt słabych lub zbyt silnych połączeń pomiędzy różnymi obszarami (czyli zaburzeń konektomu, zbioru tych połączeń). Możliwa stanie się rekonstrukcja tych połączeń przez zwiększanie neuroplastyczności przy użyciu nieinwazyjnych metod takich jak DCS i TMS. Jeszcze większe możliwości stwarza bezpośrednia stymulacja mózgu za pomocą mikroelektrod. Pokazano już efekty takiej stymulacji w korze przedczołowej⁵; chociaż pobudzenia były zbyt słabe by wywołać skurcz mięśni miały wpływ na szybsze uczenie się specyficznych umiejętności. Synchronizacja procesów w sieci czołowo-ciemieniowej za pomocą TMS wpływa w znaczny sposób na poprawę działania pamięci roboczej. Są też prace nad implantami pamięci zastępującymi pewne obszary hipokampa. Ma to wielkie znaczenie dla terapii osób cierpiących na łagodne zespoły otępienne i inne choroby powodujące zaburzenia pamięci.

Analiza aktywności mózgu pozwoli na tworzenie lepszych środowisk uczenia się (Universal Design for Learning, UDL), zaadoptowanych do indywidualnych różnic w preferencjach uczenia się⁶. W naszym laboratorium prowadzimy badania zarówno rozwoju słuchu fonematycznego, który jest podstawą do uczenia się języka, pamięci roboczej u niemowląt i umiejętności matematycznych u przedszkolaków. Monitorowanie rozwoju za pomocą bezinwazyjnych urządzeń pomiarowych, okulometrii, EEG, analizy obrazów wideo, pozwoli na stworzenie środowisk i interaktywnych zabawek dla jak najlepszych warunków do rozwoju inteligencji. Temat ten ma wielkie znaczenie społeczne i sztuczna inteligencja wykorzystywana jest na wielu etapach analizy danych. W naszym Laboratorium Neurokognitywnym powstały dwa spin-offy: Neurodio i PerKog Technologies. Zdobyliśmy 4 złote medale na targach wynalazczości Lépine w Paryżu, INPEX w Pittsburgu, INTARG w Krakowie, oraz INNOVA EUREKA 2015 w Brukseli, wyróżnienie Marszałka woj. Kujawsko-Pomorskiego, oraz Dyplom Ministra Szkolnictwa Wyższego i Nauki za projekt inteligentnej kołyski i zabawek kognitywnych, do wczesnej diagnostyki, wykrywania nieprawidłowości rozwoju, ciągłego monitorowania niemowląt i ukierunkowania ich rozwoju. Stymulacje rozwoju słuchu fonematycznego i słuchu muzycznego umożliwią dzieciom naukę dowolnego języka, w tym języków tonalnych. Stymulacja rozwoju pamięci roboczej przez stawianie wyzwań i wykorzystanie mechanizmów nagrody mózgu wpłynie na rozbudzenie ciekawości, aktywności, chęć eksploracji, uczenia się dziecka.

Proponowaliśmy też projekty służące do oceny stanu mentalnego osób, które są odpowiedzialne za życie innych ludzi (np. pilotów czy operatorów niebezpiecznych urządzeń), oparte na analizie parametrów fizjologicznych i testach neuropsychologicznych. Opracowaliśmy automatyczny system analiz testów psychometrycznych, takich jak MMPI, wykrywający różne zaburzenia mentalne, który można zastosować przy ocenie pracowników w dużych firmach. System został nauczony na przykładach dostarczonych przez psychometrów i wykorzystuje wnioskowanie oparte na regułach rozumnych. Dotychczas był stosowany głównie przez psychologów klinicznych do testowania studentów.

Projekt **DISCOVERITY** miał na celu wykrycie próby oszustwa, nieprawdziwych odpowiedzi na zadane pytania, na podstawie analizy sygnałów głosu, oddechu, pulsu, termowizji, mikroekspresji twarzy z obrazu wideo, ruchu ciała i oczu, a w przypadku konieczności dokładniejszej analizy użycia EEG. W 2005 roku przedstawiliśmy ten projekt Defence Science Organization w Singapurze, ale było za wcześnie na tego typu projekty. Przedstawiłem go również psychiatrom ze szpitala weteranów w Cincinnati jako projekt mający za zadaniem przeprowadzić wstępny wywiad z pacjentami, podsumowujący zmiany stanu zdrowia dla lekarza, który nie musiałby się szczegółowo o wszystko wypytywać. W przypadku podejrzeń o zatajenie informacji bądź podanie informacji nieprawdziwych system dia-

⁵ Mazurek & Schieber (2017). Injecting Instructions into Premotor Cortex. *Neuron*, 96(6), 1282–1289.e4.

⁶ Duch W, Brains and Education: Towards Neurocognitive Phenomics. W: "Learning while we are connected", T.3, str. 12-23.

logu zadaje dodatkowe pytania, przypominając ostatnie rozmowy. Można to połączyć z projektami telemedycznymi, skracając czas potrzebny lekarzowi do zorientowania się w sytuacji.

W ramach projektu LifeNaut wiele osób tworzy repozytoria pozwalające na budowanie swoich osobistych awatarów, z którymi będą mogły porozmawiać ich potomkowie. Nasz projekt **Alter Ego** miał za zadanie zbieranie i przechowywanie wspomnień osób cierpiących na demencję. W przypadku osób starszych cierpiących na problemy z pamięcią taki system zbierający informacje o ich życiu, dopytujący się o relacje rodzinne, prezentujący zdjęcia i filmy przypominając znajdujące się na nich osoby, służy podtrzymaniu struktury ich osobowości i poprawia kontakty z członkami rodziny i opiekunami. Przypominanie sobie historii życia, analiza relacji pomiędzy osobami i zachęcanie do uzupełniania szczegółów oraz pokazywanie filmów i zdjęć jest szczególnie ważne w przypadku choroby Alzheimera, skracając czas w którym zanika kontakt z chorą osobą.

Opisane powyżej projekty przygotowane były już ponad 10 lat temu, ale nie spotkały się ze zrozumieniem. Dopiero stworzenie Neurokognitywnego Laboratorium w nowym centrum badawczym dało szansę na realizację niektórych z nich. Projekty tego rodzaju wymagają interdyscyplinarnego podejścia, rozwiązań sprzętowo-programowych, testów prowadzonych przez psychologów i kognitywistów, neuronaukowców zajmujących się badaniami mózgow. Nie podejmą się tego firmy ani startupy ze względu na brak kompetencji. Potrzebny jest rozwój akcelerometrii – sensorów i analizy sygnałów do śledzenia ruchu; okulometrii do sterowania wzrokiem, systemów wizyjnych i pomiarów parametrów fizjologicznych do analiza zachowania. Zabawki i łóżecka interaktywne pozwolą na monitorowanie i stymulację prawidłowego rozwoju dzieci, opracowanie testów przesiewowych, gier terapeutycznych. Takie testy i gry do terapii dyskalkulii zostały już wprowadzone przez nasz spinoff Neurodio.

Przykładami obecnie sprzedawanych urządzeń korzystających z technologii neurokognitywnych są takie urządzenia jak melomind, analizujące za pomocą elektrody EEG umieszczonej w słuchawkach jaki jest nasz nastrój i jaką muzykę automatycznie do niego dobrać, relaksującą czy pobudzającą. Haloneuro pobudza korę ruchową wywołując silniejszy skurcz mięśni. Thync to prosty DCS określany jako urządzenie bioelektroniczne, mający pobudzać uwagę i wpływać na autonomiczny system nerwowy w przypadku różnych chorób (np. tuszczycy) w bardziej korzystny sposób niż leki farmaceutyczne.

5. Kreatywne obliczanie

W jednym z pierwszych artykułów na temat intuicji i kreatywności obliczeniowej⁷ inspiracje neurobiologiczne posłużyły do stworzenia modelu tworzenia słów na podstawie opisu produktów lub usług. Model ten wymaga wytrenowania skojarzeniowej sieci neuronowej na znanych przypadkach (np. słowniku danego języka), wstępnego pobudzenia takiej sieci za pomocą opisu produktu, poszukiwania silnie łączących się ze sobą fragmentów reprezentacji i selekcji opartej na filtrach semantycznych i fonologicznych. Jest to pierwsza implementacja teorii kreatywności znanej w psychologii poznawczej pod nazwą Blind Variation Selective Retention (BVSR). Umożliwia to nie tylko tworzenie nowych nazw (usługi takie oferuje wiele firm zatrudniających specjalistów) ale i analizę neologizmów i nadawanie im znaczenia.

Wiąże się to też z tematem gier słownych, takich jak gra w 20 pytań pozwalająca uściślić sens pytań w systemach dialogu w języku naturalnym. Podstawą wszystkich zastosowań wymagających rozumienia tekstu i mowy jest pamięć semantyczna. Boty w środowiskach wirtualnych wykorzystują prymitywną pamięć semantyczną prezentując informację na stronach firm, ale mają bardzo ograniczone możliwości. Wielkie projekty takich firm jak CyC Corporation czy Microsoft, czy projekt Con-

⁷ Duch W, Intuition, Insight, Imagination and Creativity. IEEE Computational Intelligence Magazine 2 (2007) 40-52

ceptNet i Open Mind Common Sense na MIT, zmierzające do stworzenia systemów rozumujących w oparciu o wielkie sieci semantyczne, realizowane w poprzedniej dekadzie, nie zakończyły się sukcesem. Można się jednak spodziewać znacznego postępu w rozwoju systemów dialogu w języku naturalnym ze strony firmy Semantic Machines, przejętej przez Microsoft w 2018 roku. Ich projekt wykorzystuje metody rozpoznawania mowy, głębokie uczenie maszynowe i uczenie z krytykiem, tworzy duże korpusy danych potrzebne do uczenia modeli. Znaczna część technologii ma być niezależna od języka, na początek planowany jest system w języku angielskim i chińskim, ale języki fleksyjne takie jak polski stwarzają specyficzne problemy. Oparty na tym systemu dialogu będzie uwzględniać kontekst i intencje rozmówcy, powinien też wykazywać pewną kreatywność. Powstanie takiego systemu spowoduje rewolucję w sposobie używania komputerów, urządzeń mobilnych i Internetu Rzeczy. W ostatnich latach kreatywność obliczeniowa stała się ważnym tematem i powstało szereg grup tym się zajmujących, ale nadal mamy chyba jedyną implementację BVS na świecie.

Analiza SWOT i rekomendacje działań.

Jak powinna wyglądać strategia, która wspomaga rozwój projektów sztucznej inteligencji na dłuższą metę? Prof. Mehmet Aksit z University of Twente w Holandii był konsultantem programu strategicznego w Turcji. Współpracując z partnerami z przemysłu pomógł on zdefiniować 185 problemów, których rozwiązanie wymaga zrobienia doktoratu. Rząd Turecki przeznaczył na to Malezja, Katar i inne kraje wybrały podobny kierunek rozwoju i obecnie robią podobne opracowania. Jest to dobry kierunek: w ramach paneli NCBR można zbierać propozycje badań i opracowania wdrożeń ze strony nauki i przemysłu, oceniając potencjalne korzyści społeczne.

By odnieść sukces w rozwoju i zastosowaniach sztucznej inteligencji potrzebna jest edukacja informatyków jak i ludzi z wybranych dziedzin, którzy mogliby używać AI gdyby trochę rozumieli co jest możliwe i jak się do tego zabrać. Potrzebne są jednak dobre ramy instytucjonalne pozwalające na szerszą interdyscyplinarną współpracę, konieczna polityka naukowa uwzględniająca informatyczny brain drain. Francja i inne kraje Unii Europejskiej mają nie tylko gotową strategię, kierowaną przez najlepszych naukowców w tej dziedzinie, ale zaczęły tworzyć centra doskonałości AI, zachęcając naukowców z Polski by zgłosić się do ich konkursów. Dotychczasowe oświadczenia Komisji Europejskiej w sprawie sztucznej inteligencji wskazują na potrzebę kompleksowych działań na dużą skalę. Powinien zostać stworzony rządowy program międzyresortowy, który zajmie się koordynacją działań wymagających współpracy wielu podmiotów.

Analiza SWOT sytuacji w Polsce w wielkim skrócie wygląda następująco.

Słabości: nieliczna kadra, badania naukowe na poziomie doktorantów w zakresie sztucznej inteligencji prowadzone są tylko w kilku miejscach. Wielka Brytania planuje 1000 doktoratów w AI do 2025 roku i przeznaczy na stypendia odpowiednie środki, podobnie jest w innych krajach UE. Brakuje specjalizowanych szkół doktorskich związanych z AI. Liczba aktywnych członków stowarzyszeń PSSI, PTSN, czy uczenia maszynowego jest niewielka. Nie istnieje duża konferencja ogólnopolska nt. sztucznej inteligencji.

Brak centrów kompetencji, zbierania danych, są liczne biurokratyczne przeszkody utrudniające finansowanie repozytoriów dużych danych. Brakuje nam instytucji, które mogłyby stanowić centrum kompetencji w tym zakresie, której można by zlecać zadania lub wspólnie rozwiązywać problemy wymagające połączenia kompetencji w zakresie sztucznej inteligencji i wiedzy domenowej w takich obszarach jak medycyna, analiza języka naturalnego. Oceny jednostek i naukowców zajmujących się AI nie uwzględniają specyfiki tej dyscypliny, najważniejsze prace pojawiają się na konferencjach, które niewiele liczą się do dorobku naukowego a zajmowanie się językiem polskim nie prowadzi do publikacji w ważnych czasopismach. Liczba polskich naukowców na najważniejszych konferencjach

międzynarodowych z zakresu sztucznej inteligencji lub uczenia maszynowego jest niewielka, a tam publikowane są najważniejsze prace, a nie w czasopismach.

Brakuje zintegrowanych długofalowych programów w skali kraju, w szczególności projektów wysokiego ryzyka. W Dolinie Krzemowej 90% projektów kończy się klęską. Potrzebne są inwestycje w technologie przyszłości, w tym np. neurotechnologie, neuroinformatykę, tworzenie algorytmów dla komputerów neuromorficznych i kwantowych, nowych rozwiązań dla autonomicznej robotyki. Konieczna jest identyfikacja zagadnień obecnie jeszcze niedostatecznie wyeksploatowanych (być może jeszcze niszowych) a mających szansę na potencjalny rozwój w następnych latach i/oraz wykorzystania specyfiki pewnych obszarów charakterystycznych dla Polski.

Brak sprawnego wsparcia technicznego i administracyjnego zabiera czas twórcom nie pozwalając się skupić nad pracą. Polski profesor nie ma sekretarki, sam przygotowuje specyfikację sprzętu i załatwia jego naprawę, musi często zajmować się sprawami technicznymi gdyż w centrach badawczych nie ma menadżerów laboratoriów. Nasze umiędzynarodowienie jest na niskim poziomie, brakuje współpracy pomiędzy ośrodkami, niewiele jest projektów interdyscyplinarnych.

Siła środowisk naukowych: możliwość opracowania rozwiązań, które wymagają współpracy grup o bardzo różnych i nietypowych kompetencjach. Neuroinformatyką neurokognitywną nie zajmie się żadna firma w Polsce z braku kompetencji, to mogą zrobić tylko centra badawcze. Dobrym przykładem udanych programów naukowych jest Team, First Team i Team Tech prowadzone przez FNP. Takie programy specjalnie dedykowane AI mogłyby znacznie wzmocnić naszą pozycję. Jakie są najbardziej obiecujące dziedziny, w których moglibyśmy się podjąć wielkich wyzwań? Warto tworzyć konsorcja jednostek naukowych w celu rozwiązywania realnych problemów, wsparte odpowiednimi środkami na ich działanie. Przykładowo w strategii Wielkiej Brytanii sztuczna inteligencja w połączeniu z wielkimi bazami danych ma doprowadzić do transformacji do roku 2030 w medycynie, umożliwiając wczesne diagnozy, prewencję i terapię chronicznych chorób. W tym kontekście przynajmniej kilka polskich zespołów ma doświadczenie ze wspomaganiami diagnostyki medycznej i można rozważać ew. konsorcjum dla większych, podobnych wyzwań w problematyce opieki zdrowotnej i nowoczesnej medycyny.

Szanse: do programów europejskich w zakresie AI musimy być dobrze przygotowani. Istnieje możliwość tworzenia projektów zamawianych w skali kraju, pozwalających na dofinansowanie konsorcjów, które podejmą się stawianych przez nie wyzwań. Ważne jest wykorzystanie KDM, szczególnie PL-Grid: mamy w Polsce zbudowaną wielkim kosztem dobrze rozwiniętą sieć 5 ośrodków udostępniających superkomputery. PL-Grid oferuje usługi dziedzinowe w 24 dyscyplinach, w tym complex networks, zawierającym uczenie maszynowe i analizę języka naturalnego. Udostępniany jest sprzęt GPU i FPGA nadający się do głębokiego uczenia na dużą skalę, jak również software do zaawansowanych obliczeń i symulacji komputerowych. Zainwestowano znacznie więcej w sprzęt niż w ludzi, ale nie tak prosto jest go w pełni wykorzystać. Wymaga to kompleksowego podejścia: szerokiej edukacji w zakresie analizy danych i wykorzystania AI, banków danych, centrów kompetencji i programów do analityki, współpracy międzynarodowej.

Mamy powszechny dostęp do danych satelitarnych z Sentineli, można organizować konkursy analizy takich wielkoskalowych danych z ukierunkowaniem też na różne możliwe zastosowania społeczno-gospodarcze. Możemy się włączyć w międzynarodowe programy w zakresie AI, w tym Human Brain Project Medical Platform. Technologie 5G i Internet Rzeczy dostarczą wkrótce danych z sieci sensorów dla inteligentnych miast, autonomicznych pojazdów i robotów, zastosowań przemysłowych, przetwarzania i analizy danych bio-medycznych, itp. Możemy się do tego przygotować tworząc kompleksowe programy "AI dla przyszłości". Mamy sporą grupę młodych informatyków pracujących w Google Brain i innych międzynarodowych firmach produkujących w AI.

Warto zdefiniować szerszą misję społeczną w stylu: AI dla wspomagania rozwoju człowieka od narodzin do śmierci we wszystkich aspektach życia, poprawy jakości życia dzięki nowym inteligentnym metodom.

Zagrożenia: finansowanie prostych wdrożeń, bez zrozumienia technologii, a co dopiero jej podstaw metodycznych. Jeśli inżynier, który nauczył się z Internetu będzie budować nam mosty to katastrofa murowana. Systemy AI są znacznie bardziej skomplikowane jednakże wielu ludzi zajmujących się informatyką w firmach nie przeszła nigdy kursu AI ani nie przeczytała żadnego podręcznika. Prasa już pisze "Polacy stworzyli prawdziwą sztuczną inteligencję" i decydenci mogą w to uwierzyć, że jesteśmy informatyczną potęgą. Potrzebujemy ludzi mających kompetencje w tym obszarze.

Finansowanie krótkoterminowe bez budowy fundamentów może doprowadzić do kilku drobnych sukcesów ale pozostawi nas w tyle. Nawet w USA czy [UK przemysł wyciąga z uczelni najlepszych ludzi](#) i nie ma kto uczyć AI oraz prowadzić badań. Analogiczna sytuacja jest obecnie w Polsce. Studenci informatyki zwykle pracują wykonując proste i dobrze płatne prace programistyczne. Niskie zarobki na uczelniach powodują poszukiwanie pracy poza uczelniami lub zatrudnienie na wielu etatach. Informatycy są zbyt zajęci by się nauczyć sztucznej inteligencji, sukces wymaga poświęcenia 100% czasu na pracę naukową. Nie da się jednak zatrudnić "postdocka" za pensję niższą niż stypendium doktoranta w Niemczech.

Brak jest wyróżnienia strategicznych kierunków priorytetowych polityki naukowej w najbardziej obiecujących i perspektywicznych obszarach. Wydziały optymalizują oceny parametryczne skupiając się na tradycyjnych kierunkach, gdzie punktów jest najwięcej. Nowa ustawa nie stworzyła zachęty do tworzenia interdyscyplinarnych projektów w nowych obszarach, nie ma powodu inwestować w najbardziej obiecujące projekty, trudno w tej sytuacji konkurować z Chinami, USA czy Zachodnią Europą, gdzie mamy do czynienia ze świadomą polityką rozwoju.

Potrzebujemy podejścia kompleksowego w 3 obszarach, ustalenia co jest możliwe po stronie Ministerstwa a co my jako środowisko możemy zrobić.

Edukacja. Wychowanie specjalistów wysokiej klasy wymaga stworzenia odrębnego programu studiów informatycznych, w ramach którego można zrobić specjalizację (w stylu "minor subject" w USA) wybierając także szereg zajęć z ekonomii, prawa, medycyny czy chemii by poznać możliwe obszary zastosowań. Koreańczycy mają w planach 6 uczelni zajmujących się AI.

Warto tworzyć także specjalizacje AI w ramach różnych kierunków studiów. Można tworzyć programy na poziomie magisterskim i szkoły doktorskie, nie tylko w ramach studiów informatyki ale również w połączeniu z innymi kierunkami. Konkursy otwarte dla wszystkich kończą się propozycjami specjalistów, którzy mają najwięcej czasu i najmniej studentów, a to na pewno nie są informatycy.

Możemy stworzyć międzynarodowy program doktorski wciągając do współpracy ludzi z kilku rozpoznawalnych uniwersytetów europejskich (także ewentualnie w wersji z krajów grupy Wyszehradzkiej) i zaproszonych wykładowców z innych krajów. Potrzebne są środowiskowe szkoły doktorskie z dziedziny AI, uczenia maszynowego (i zagadnień pokrewnych) o charakterze międzynarodowym skupionych wokół wybitnych przedstawicieli nauki z Polski i zagranicy. Pomoże to mniejszym ośrodkom, które chcą rozwijać swoją kadrę ale same nie mają uprawnień doktorskich współpracować z silnymi uczelniami i jednostkami badawczymi. Można częściowo wykorzystać wykłady dostępne w Internecie, ale należy nadać certyfikatami na nich zdobywanym punkty ECTS, stworzyć rekomendacje dla wyboru właściwych ścieżek szkoleniowych i zapewnić właściwy nadzór nad projektami studentów.

Badania. Trzeba przedyskutować możliwości tworzenia programów badawczych w celu rozwiązania ważnych problemów w skali kraju. Powinny to być programy długofalowe, monitorowane co roku w ramach pilotażu. Potrzebna jest identyfikacja wybranych strategicznych kierunków, współpracujących towarzystw, zarówno z perspektywy badawczej jak i specyfiki zastosowań (i ukierunkowanie

projektów badawczych w tych kierunkach). Program powinien wyróżnić badania podstawowe i obszary współpracy związanych z możliwymi wdrożeniami, uwzględniając możliwości naszych krajowych grup, firm i instytutów badawczych, perspektywy rozwojowe, potencjalne zainteresowanie przemysłu. Należy lepiej wykorzystać krajową infrastrukturę obliczeniową PL-GRID.

Konieczna jest integracja środowisk związanych z AI, powstanie nadrzędnej organizacji koordynującej działania różnych towarzystw. Warto oczywiście położyć nacisk na współpracę międzynarodową, starania o granty H2020, ale także granty amerykańskie, w których możemy brać udział. Informacje o tego typu grantach powinny do nas docierać regularnie.

Ramy instytucjonalne. Najciekawszą propozycją jest utworzenie sieci kilku kluczowych ośrodków o międzynarodowej rozpoznawalności, skupionej wokół konkretnych projektów i zintegrowanych przez wspólne rady naukowe dla poszczególnych specjalności. Francuskie programy CNRS mogą tu być dobrym modelem. Granty na badania powinny być związane z osobami a przywiązane do instytucji (tak jak jest w grantach ERC). Potrzebne jest stworzenie nowej formy organizacyjnej pozwalającej kreatywnym naukowcom skupić się na pracy.

Przydane będzie powołanie stałego gremium eksperckiego do monitorowania realizacji strategii, w którym strona rządowa, przedstawiciele środowiska naukowego AI, oraz innowacyjnych firm, będą na bieżąco wspierać realizację i monitorowanie przedsięwzięć związanych z rozwojem i finansowaniem AI w Polsce.