

*Marcin Surkont*  
msurkont@box43.pl  
nr 87167

Projekt z przedmiotu „Wstęp do sztucznej inteligencji”  
**dr hab. H. Kwaśnicka**

*Opis projektów „Oxygen” oraz „Principia  
Cybernetica”*  
**wersja dokumentu 1.0**

**Abstrakt**

Dokument opisuje dwa projekty ściśle wiążące się z teraźniejszymi i przyszłymi zastosowaniami sztucznej inteligencji. Projekt „Oxygen” jest opisany jako szeroko rozumiane przetwarzanie komputerowe wbudowane w środowisko i korzystające z zaawansowanych metod sztucznej inteligencji do obsługi interakcji człowieka z maszyną oraz interpretacji intencji użytkownika. Opisany jest również, wykorzystany w projekcie Principia Cybernetica, algorytm samoorganizacji hipertekstu. Principia Cybernetica Web przedstawia natomiast sieciową reprezentację projektu, umożliwiającą współdziałanie rzeszy uczestników w uzyskaniu spójnej i jednolitej reprezentacji wiedzy.

Data oddania dokumentu: Wrocław, 11.01.2001

## Wstęp

Patrząc w przyszłość wiedzy informatycznej, szczególnie tej związanej z szeroko rozumianą sztuczną inteligencją, nie można zapomnieć o przeszłości tej dziedziny oraz informatyki jako całości.

Dobrze jest zadać sobie również pytanie o wpływ, jaki mają komputery na nasze życie.

Można więc stwierdzić [1], że komputery zwiększyły naszą (ludzką) wydajność. Nie ma jednak żadnego miarodajnego dowodu na potwierdzenie tego faktu. Czy nie jest tak, że maszyny liczące tylko zastępują jeden rodzaj pracy innym?

Na każde inne pytanie o wpływ komputerów na nasze życie można podać przykłady za oraz przeciw. Na stwierdzenie, że komputery dały nam edytory tekstu, gry oraz Internet można odpowiedzieć, że również pozbawiły nas mnóstwa możliwości kontaktów międzyludzkich oraz wprawiły w lęk o nasze bezpieczeństwo sterowane przez zawodne komputery i oprogramowanie.

## Projekt Oxygen

Projektem, który stara się właśnie zmienić te negatywne symptomy związane z komputerami, jest projekt Oxygen. Realizowany w MIT ma na celu ustanowienie nowego rodzaju przetwarzania informacji, realizowanego przez komputery w sposób ukryty, przezroczysty dla użytkownika, jak również pozbawić go problemów związanych z uczeniem się obsługi systemu komputerowego.

### Cele

Autorzy charakteryzują projekt jako próbę przejścia od standardowych komputerów, które opierają się na przetwarzaniu sztucznych nazw i komunikatów (na przykład: "ania@poland.com", "c:\katalog\plik.doc") do powszechnie dostępnej mocy obliczeniowej, która wbudowana w środowisko potrafi udostępniać usługi potrzebne użytkownikowi. Komunikacja z tym środowiskiem ma odbywać się standardowymi kanałami: głosem, gestem, które wskazują na naszą intencję (np. "prześlij to Ani", "daj mi papierową kopię szybko"). Urządzenia i oprogramowanie powinny więc szybko dostosowywać się do wymagań użytkownika.

Celem projektu jest stworzenie systemu, który byłby:

- wszechobecny (pervasive) - musi być wszędzie, każdy też jego element musi mieć dostęp do tej samej informacji
- osadzony (embedded) - musi być wbudowany w środowisko, analizować je i wykonywać odpowiednie działania

- koczowniczy (nomadic) – musi istnieć możliwość swobodnego przenoszenia informacji i przetwarzania informacji do miejsca najbliższego użytkownikowi
- niezmienny (eternal) – system nie może się wyłączać lub restartować, jego składniki muszą mieć możliwość wymiany podczas pracy. Założeniem jest, że system Oxygen jest niezatrzymywalny i wieczny.

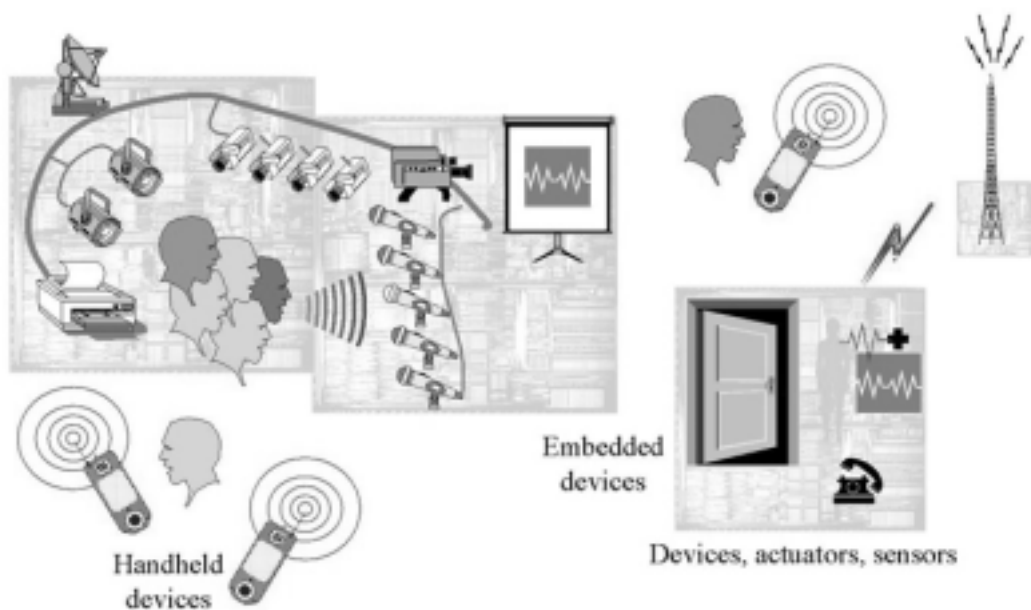
Szczególnie to ostatnie założenie może, przy obecnym poziomie technologicznym oprogramowania, wydawać się nierealne. Jednak jeśli chce się raz na zawsze uwolnić ludzi od ciągłej obawy o jakość systemów informatycznych, muszą one dać sobie radę ze stabilnością. System Oxygen ma być większą zmianą technologiczną, niż było przejście z komputerów typu mainframe do desktop.

### Jak ma to być osiągnięte?

System ma się składać z samoorganizującej się sieci połączeń (zwanej **N21**), która pozwala na automatyczną zmianę konfiguracji urządzeń do niej podłączonych. Urządzenia te powinny mieć możliwość samoidentyfikacji. Sieć daje też narzędzia nazewnicze oraz środki bezpiecznego przenoszenia informacji.

Do sieci podłączone są różnego rodzaju czujniki (jak jest to przedstawione na rysunku 1), których zadaniem jest obsługa interakcji człowieka z systemem.

Rysunek 1. Części składowe systemu Oxygen



Drugim, wydaje się ważniejszym elementem, jest środowisko oprogramowania. Aby spełniało ono wszystkie cztery warunki przedstawione wyżej, a w szczególności warunek ostatni, nie może ono być zdefiniowane zbyt szczegółowo. Tak więc poziomem specyfikacji systemu jest specyfikacja sposobu automatycznej podmiany oprogramowania, sposobu uruchamiania tej specyfikacji oraz stałej, transakcyjnej semantyki, która umożliwi operacyjną obsługę tych dwóch mechanizmów.

Trzecim elementem są urządzenia komputerowe – z grubsza podzielone na przenośne (**H21** – handheld devices) oraz wbudowane (**E21** - embedded devices). Urządzenia wbudowane, z racji swojej mocy obliczeniowej i większych możliwości komunikacji, sterują przetwarzaniem informacji. Starają się też przejmować jak najwięcej funkcjonalności z urządzeń przenośnych w celu większej efektywności oraz energooszczędności działania.

### Miejsce sztucznej inteligencji

Można zapytać, gdzie miejsce sztucznej inteligencji do takiego systemu? Otóż ono jest, i to bardzo duże.

Po pierwsze – najważniejszą cechą systemu jest pozbawienie go fizycznych narzędzi interakcji człowieka z maszyną, takich jak klawiatura, mysz, ekran. Oczywiście nie ma to na celu całkowitego wyeliminowania tych elementów (ekran służy przecież do pokazywania dokumentów, obsługi videokonferencji, urządzenia przenośne służy do interakcji z użytkownikiem kiedy w okolicy nie ma możliwości przedstawienia informacji, itp), ale do usunięcia z nich elementów służących obsłudze systemu. W systemie Oxygen człowiek posługuje się głosem do wydawania systemowi poleceń – po części dlatego, aby ułatwić mu zadanie (posługując się językiem naturalnym nie musi uczyć się abstrakcyjnych komend), a po drugie aby oderwać miejsce przetwarzania informacji od jednego urządzenia (jest ono teraz tam, gdzie człowiek). Tak więc algorytmy sztucznej inteligencji muszą zostać zaprzężone do rozumienia języka naturalnego, otrzymania czystej intencji przekazu oraz uzyskania pozycji autora wiadomości.

Ponadto jednym z celów projektu Oxygen jest pozbycie się sztucznych nazw adresowych, na przykład zamiast wysłać komendę: „wydrukuj dokument na drukarce LPT1” można podać „wydrukuj mi to”. System powinien wiedzieć, gdzie użytkownik się znajduje, jakie są jego preferencje dotyczące wydruku (czy lubi czarno-biały, czy kolorowy) oraz gdzie znajduje się najbliższa drukarka. Powinien też wiedzieć, że jeśli najbliższa drukarka znajduje się 100 m od tego miejsca, powinien zasugerować użytkownikowi inną akcję.

## Czy to nie fantazja?

Wszystko to brzmi trochę jak science-fiction - szczególnie dla informatyka. Zwłaszcza jeśli autorzy prezentują jedną z cech oprogramowania [6] jako: „the component recognizes objects even if they are new to the system...”. Klóci się to z dotychczasowym sposobem rozwiązywania zadania klasyfikacji obiektów. I czy system, aby osiągnąć te cele, nie powinien się odznaczać wysoką inteligencją?

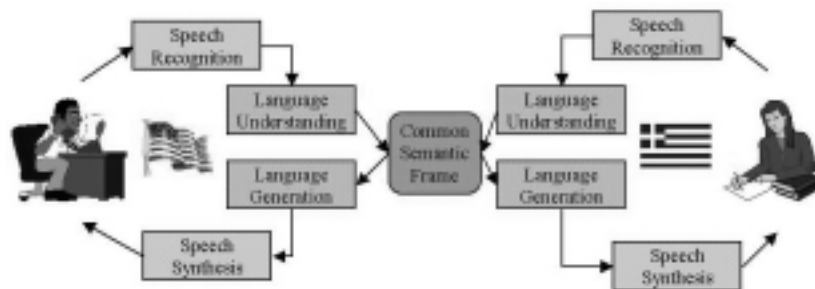
Aby jednak system Oxygen mógł zostać w pełni stworzony, muszą być spełnione dość wysokie wymagania co do sprzętu i oprogramowania. I tak:

- **sprzęt komputerowy** musi stać się adaptowalny i w pełni skalowalny, jak również energooszczędny celem mocy oraz efektywności obliczeń
- **oprogramowanie i protokoły** – muszą stać się niezależne od sprzętu (i tym samym adresów), w pełni rozproszone – zamiast tego powinny być zorientowane na potrzeby użytkowników.

Jednak podobne projekty pod względem celu są już realizowane: np. w styczniowym numerze „Świata Nauki” prezentowany jest dom wyposażony w system, który umożliwi pełną analizę zachowań osób w nim się znajdujących. Jednym z zastosowań jest możliwość pomocy osobom starszym, które powinny znajdować się pod opieką swojej rodziny – w tym wypadku rodzina osoby może zostać powiadomiona o fakcie upadku starszej osoby, czy też innym, zastanawiającym jej zachowaniu.

Inny przykład zastosowania zaprezentowany jest na rysunku 2.

Rysunek 2. Przykładowe zastosowanie obsługi języka naturalnego w systemie Oxygen.



System Oxygen powinien być także pomocny w przypadku udostępniania jednoznacznej, dobrze sklasyfikowanej i aktualnej wiedzy.

## Reprezentacja wiedzy

Jak tą wiedzę uzyskać, jest zupełnie innym problemem. Od dość dawna różne systemy próbują sklasyfikować i ujednolicić wiedzę, jaką posiada ludzkość, jednakże od zawsze były to subiektywne spojrzenia, nie posiadające jednoznacznej weryfikacji. Dopiero z pojawieniem się Internetu (a w szczególności WWW) zaistniała szansa na dotarcie do olbrzymiej liczby ludzi w celu weryfikacji tej wiedzy.

### WWW jako sieć semantyczna

Sieć WWW, rozumiana jako globalna sieć połączonych węzłów, zalicza się do klasy sieci zawierających rozproszoną wiedzę. W pewnym sensie działa ona jak adaptacyjna sieć neuronowa, która poprzez zmianę połączeń (linków) oraz przechodzenie przez węzły w oddziałuje na wiedzę, którą posiadają jej użytkownicy.

Jednak w WWW brak pewnych funkcjonalności prawdziwej sieci neuronowej – sieci neuronowe nie są przeznaczone do przechowywania informacji, ale raczej do kontrolowania zachowania. WWW nie ma również mechanizmu do adaptowania wiedzy – uczenia się.

Rozwiązaniem tego problemu jest, według [4], rozwinięcie pierwotnej wersji hipertekstu do bardziej „neuronowej” wersji. Pierwszym krokiem może być zaimplementowanie rodzaju samoorganizacji sieci, która mogłaby zmieniać swoją strukturę i organizować wiedzę, którą zawiera.

Taki właśnie algorytm został zaproponowany w [4] oraz [2].

### Samoorganizujący się hipertekst

Algorytm ten jest bardzo prosty [2]. Przypuśćmy, że każde potencjalne połączenie ma nadaną wartość, zwaną wagą. Niech dla danego węzła tylko najważniejsze (o największej wadze) połączenia będą aktualizowane, czyli widoczne dla użytkownika. W danym węźle wszystkie połączenia są także posortowane względem wartości wagi, tak że użytkownik jako pierwsze napotyka ważniejsze z nich.

Do zmiany wagi danego połączenia używana jest jedna z trzech reguł:

#### a) częstość użycia

W każdym przypadku, gdy dane połączenie  $a \rightarrow b$  jest wybierane, jego waga jest zwiększana. Tym samym waga połączenia stanowi proste odwzorowanie częstotliwości, z jaką jest ono wykorzystywane.

Metoda ta zastosowana niezależnie doprowadziłaby jednak do skonsolidowania połączeń już istniejących – nie ma w niej mechanizmu do tworzenia nowych. Problem ten rozwiązuje reguła b.

#### **b) przechodność**

Jeśli wybrane zostanie połączenie  $a \rightarrow b$  oraz następnie  $b \rightarrow c$ , połączenie  $a \rightarrow c$  powinno zwiększyć swoją wagę (prawo przechodności). Waga ta może się zwiększyć na tyle, że czyni to połączenie widocznym dla użytkownika. Takim sposobem możliwe jest automatyczne stworzenie nieskończonej liczby nowych połączeń (gdyż teraz użytkownik może przejść  $c \rightarrow d$  i stworzone zostanie  $a \rightarrow d$ ), co, w efekcie, daje możliwość adaptowania się sieci do poszukiwanego przez użytkownika docelowego węzła (jeśli użytkownik aby dostać się do interesującego go węzła, przechodzi ścieżkę połączeń to, po pewnym czasie, powinno się pojawić bezpośrednio połączenie do docelowego węzła)

#### **c) symetria**

Podobna metoda do pokazanej w b) powinna zostać użyta do przedstawienia reguły symetrii. W wypadku, gdy po akcji użytkownika zwiększana jest waga połączenia  $a \rightarrow b$ , jednocześnie powinno być powiększona waga połączenia  $b \rightarrow a$ . Warto jednak pamiętać, że ta reguła nie tworzy nowych połączeń, a jedynie pokazuje symetrię w wykorzystaniu węzłów.

Prawa symetrii i przechodności są o wiele silniejsze, jeśli się je weźmie razem. Weźmy na przykład połączenia  $a \rightarrow c$  i  $b \rightarrow c$ . Żadne z tych praw oddzielnie nie wygeneruje połączenia między a i b, mimo iż istniejące połączenia mogą być wykorzystywane bardzo często. Razem zastosowane jednak potrafią to zrobić: połączenie  $b \rightarrow c$  zwiększa jednocześnie wagę połączenia  $c \rightarrow b$ , natomiast wykorzystywanie teraz przez użytkowników połączenia  $a \rightarrow c$ , a następnie nowego  $c \rightarrow b$  doprowadzi (przez prawo przechodności) do utworzenia połączenia  $a \rightarrow b$ . Istnieją również dodatkowe metody [7], które pozwalają na zwiększenie różnorodności i jakości połączeń:

#### **d) zmniejszenie wagi połączenia wraz z upływem czasu**

Prawo to pozwala to na zachowanie wag wszystkich połączeń w pewnych granicach tak, aby niektóre, najczęściej używane, nie zaczęły „uciekać do nieskończoności”. W przypadku nieprawidłowych połączeń wynikających z reguły przechodności pozwala to też na ich usuwanie.

#### **e) szum – losowa mutacja**

Jest to wprowadzanie w sposób losowy nowych, niewykorzystywanych połączeń – można w ten sposób uniknąć wpadnięcia w stan systemu, z którego nie ma już wyjścia. W przypadku, gdy utworzone połączenie nie jest poprawne, z reguły d) zostanie ono po niedługim czasie usunięte.

## Wyniki eksperymentalne

Powyższy algorytm został zaimplementowany w eksperymencie [4] polegającym na stworzeniu sieci zawierającej 150 węzłów odpowiadającym 150 najczęściej używanym angielskim rzeczownikom. Każdy z węzłów był połączony z wszystkimi pozostałymi węzłami. Sieć ta została utworzona jako strony hipertekstowe i umieszczona w Internecie. Użytkownik otrzymywał stronę z danym słowem oraz 10 słowami, które były połączone do danego słowa najsilniejszymi powiązaniem. Zadaniem użytkownika było wybranie najlepszego skojarzenia do danego słowa. Jeśli potrzebne słowo nie znajdowało się wśród tych 10 wyświetlonych, użytkownik mógł wyświetlić następną dziesiątkę, posortowaną wedle wagi połączenia.

Tabela 1. Wyniki eksperymentu [4]. 10 najmocniejszych (o największej wadze) połączeń ze słowa MIND po 0, 600, 1200, 2400 i 4200 kroków (jeden krok to pojedyncze wybranie skojarzenia przez użytkownika).

MIND				
0	600	1200	2400	4200
table	thought	thought	thought	thought
order	idea	idea	idea	idea
figure	research	research	knowledge	knowledge
party	problem	change	development	view
question	need	need	change	education
school	light	knowledge	theory	theory
act	development	problem	research	development
history	change	development	need	research
fact	view	example	education	change
wife	law	life	view	problem

Po wynikach widać (jak i również po wynikach podobnego eksperymentu [2]), że otrzymano zaskakująco dobre rezultaty – już po około 2500 krokach z dostępnej puli 22500 połączeń sieć uzyskała dobrą strukturę, gdzie większość węzłów uzyskała połączenia z wielką liczbą powiązanych słów.



## Principia Cybernetica Project

Principia Cybernetica Project (PCP) [7] jest międzynarodową organizacją założoną w 1989 roku przez V. Turchina i C. Joslyna. Celem projektu jest uzyskanie kompletnego naukowego i filozoficznego obrazu świata, zainspirowanego przez teorię systemów, ewolucję oraz cybernetykę. Wykorzystując najnowsze osiągnięcia techniczne, takie jak Internet, hipermedia oraz sieci semantyczne, projekt proponuje unikalne połączenie pytań filozoficznych, koncepcji naukowych oraz technologicznych narzędzi i metod.

### Obraz świata według PCP

Pytania, na które stara się odpowiedzieć PCP to pytania, które ludzkość sobie stawia od wielu wieków. Filozofia PCP jest zorganizowana w sieć wzajemnie zależnych koncepcji i zasad.

Oto niektóre z pytań:

- co jest?
- dlaczego jest coś niż nic?
- dlaczego świat jest taki jaki jest?
- skąd to wszystko pochodzi?
- skąd pochodzimy?
- kim jesteśmy?
- dokąd zmierzamy?
- jaki jest cel tego wszystkiego?
- czy jest Bóg?
- czym jest dobro i zło?
- czym jest prawda?
- czy posiadamy wolną wolę?
- co to jest świadomość?
- jak być szczęśliwym?
- dlaczego nie możemy żyć wiecznie?
- jaki jest cel życia?

Po dziesięciu latach działalności projekt (według autorów) spełnił pokładane w nim nadzieje i odpowiedział na większość z tych pytań.

## Filozofia cybernetyki

Każdy system filozoficzny składa się z elementów składowych, idei. Idee, podobnie do genów, przechodzą rodzaj ewolucji, podczas której poddawane są mutacji, krzyżowaniu oraz selekcji. Sposobem, aby szybko stworzyć system tak skomplikowany jak filozofia cybernetyki, jest wspomaganie i wzmacnianie tej naturalnej selekcji z pomocą technik cybernetycznych.

Aby stworzyć system potrzebna jest duża ilość różnorodnych idei dostarczonych do projektu przez osoby o różnym doświadczeniu naukowym i kulturowym. Potrzebne jest także narzędzie, którym można te idee poddać manipulacji oraz połączeniom - sieć hipermedialną.

Principia Cybernetica Web jest reprezentacją PCP w postaci umieszczonego w Internecie (www) [7] portalu. Portal ten jest pomyślany jako miejsce, w którym osoby z różnych środowisk (współpracownicy) mogą dodawać i modyfikować bazę wiedzy.

W projekcie PCW wyróżniane są dwa typy współpracowników:

- **edytorzy** – są to osoby odpowiedzialne za zawartość merytoryczną (jak edytorzy książki). Mogą oni odrzucać materiały z powodu ich niskiej jakości.
- **współuczestnicy** (contributors) – osoby dodające materiały, niekoniecznie własne (mogą na przykład dodawać materiały dawno wycofane z druku).

Współuczestnikami projektu mogą być także osoby nieudostępniające materiały – każdy z węzłów (dokumentów) może być skomentowany przez każdego, dając edytorom możliwość poprawienia błędów, ujednoczenia punktów, czy też zwiększenia wagi tematu, który jest interesujący.

Principia Cybernetica Web jest zorganizowana w sposób hierarchiczny – elementem na szczycie hierarchii jest strona domowa PCW. Materiały, znajdujące się na szczycie hierarchii i, tym samym, są najłatwiej dostępne przez użytkowników, powinny być pod ścisłą kontrolą jakości. Im niżej w hierarchii tym mniejszy stopień kontroli edytorów nad materiałem tak, że na samym dnie mogą znajdować się materiały kontrowersyjne, niejasne lub też niekompletne. Jeśli taki materiał stanie się załącznikiem dyskusji, coraz więcej połączeń będzie na niego wskazywało, to węzeł ten stanie się łatwiej dostępny dla użytkowników i, tym samym, osiągnie wyższy stopień w hierarchii węzłów.

Każdy z węzłów PCW może być jednego z trzech typów:

- **zgodny** (consensus nodes) – węzły, które nie budzą kontrowersji i wszyscy edytorzy się zgadzają z każdym zdaniem tego tekstu,
- **indywidualny** (individual nodes) – węzły, które są zgodne z głównym nurtem PCW, natomiast nie musi istnieć pełna zgoda edytorów z ich treścią

- **dyskusyjny** (discussion nodes) – węzły, które nie są pod kontrolą edytorów. Są one przedstawione w PCW jako adnotacje (przypisy) – każda osoba odwiedzająca jeden z węzłów systemu może dodać komentarz przyciskając przycisk „Add comment”.

### Ewolucyjny rozwój

Wiedza, jak i większość systemów, ewoluuje poprzez rekombinacje i mutację. W przypadku PCW wiedza jest przedstawiona jako węzły, ale również jako połączenia między nimi – rekombinacja występuje gdy zmieniają się (powstają lub znikają) połączenia między węzłami, mutacja natomiast gdy zmienia się zawartość węzła.

Ważnym aspektem ewolucji jest próba utrzymania jak najwyższej jakości wiedzy, która jest reprezentowana. W PCW jest to osiągnięte na dwa sposoby: ręczny oraz automatyczny.

Ręczny system to po prostu edytorzy, którzy zmieniają połączenia między węzłami, jak i samą zawartość węzłów wedle ich wiedzy. Tak też funkcjonuje projekt Principia Cybernetica w chwili obecnej.

Automatyczny sposób bazuje natomiast na specjalnych regułach wyboru najlepszych powiązań między węzłami. Ta faza jest też w tej chwili w fazie implementacji do całości projektu. Opierać się ona będzie na algorytmie zaprezentowanym w [2] oraz [4] oraz w rozdziale niniejszego tekstu pt. „**WWW jako sieć semantyczna**”. Zespołem decydującym nad spójnością bądź niespójnością danych dwóch węzłów będą widzowie.

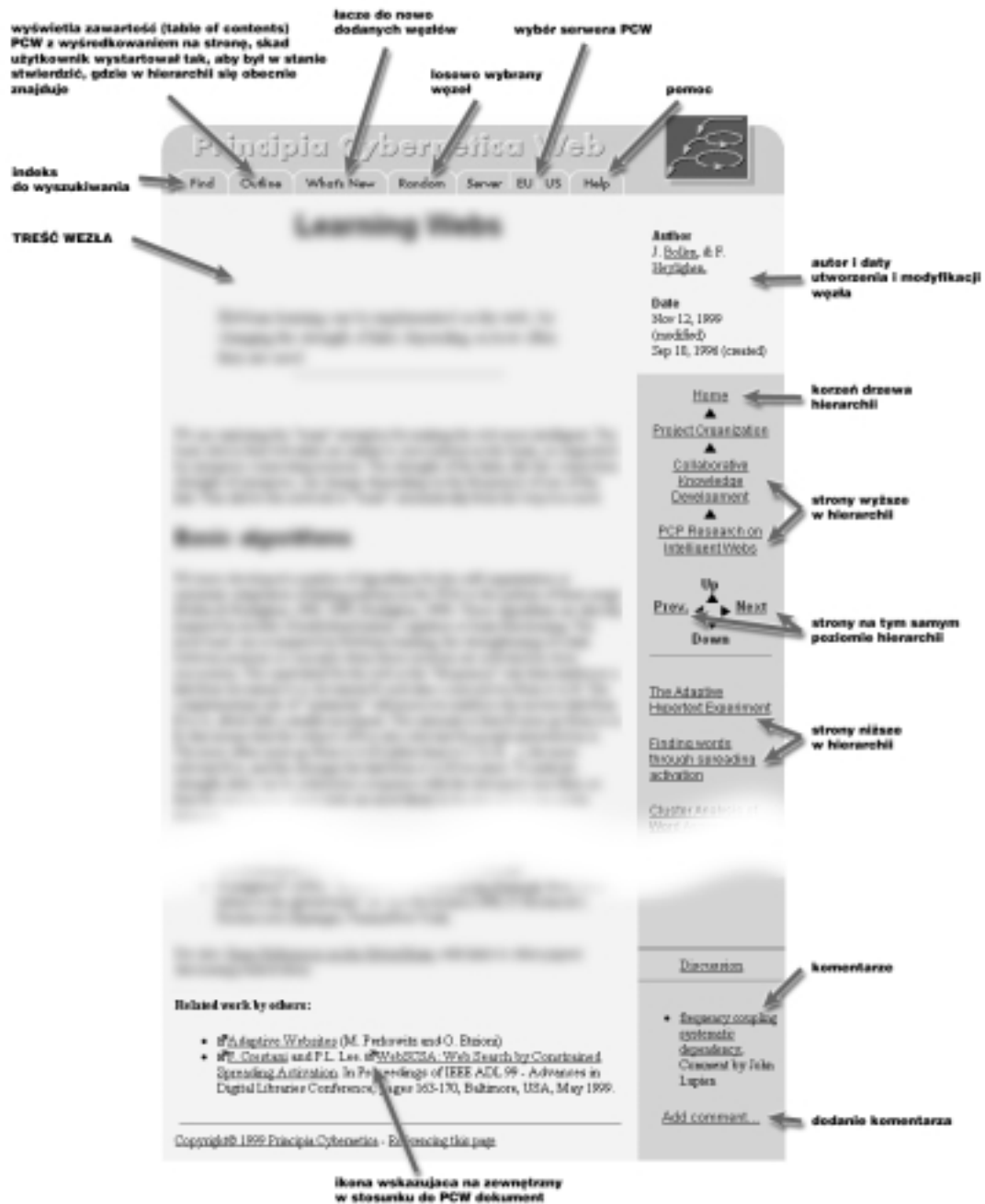
Zresztą już teraz w pewien sposób automatycznie sprawdzana jest spójność danego węzła.

Widzowie, dodając komentarz, mogą wybrać typ komentarza spośród poparcia tezy, a jej odrzucenia. Te dane mogą dawać dobre podstawy do analizy wiarygodności węzłów.

### Principia Cybernetica Web

Strona internetowa PCW reprezentuje hierarchiczną strukturę projektu – możliwość nawigacji po węzłach zarówno wertykalnie (poprzez poziomy hierarchii), jak i horyzontalnie (poprzez dokumenty na tym samym poziomie hierarchii). Rysunek 3 reprezentuje wygląd strony PCW.

Rysunek 3 – sposób zaprezentowania projektu Principia Cybernetica Web w Internecie



## Podsumowanie

Zastosowania sztucznej inteligencji ewoluują w dwa, ciekawe i różniące się obszary.

Pierwszym z nich jest kontrolowanie i obsługa nowego rodzaju urządzeń i systemów Projekt Oxygen pokazuje praktycznie końcowe (z dzisiejszego punktu widzenia) stadium rozwoju obsługi informacji – kieruje on uwagę na unowocześnianie technologii obsługi wszechobecnego przetwarzania, wbudowania systemów w środowisko oraz obsłudze naturalnych kanałów komunikacji z człowiekiem. Sztuczna inteligencja jest tu narzędziem służącym do obsługi interakcji z użytkownikiem.

Drugim obszarem są zastosowania sztucznej inteligencji do gromadzenia, kategoryzowania i ujednolicania wiedzy człowieka. Dzięki stworzeniu Internetu zostały bowiem przełamane bariery komunikacji międzyludzkiej, co dało w efekcie możliwość nieskrępowanej i taniej wymiany wiedzy. Principia Cybernetica Project stara się tą wiedzę uporządkować. Projekt ten udowodnił, że użycie metod sztucznej inteligencji (przetwarzania ewolucyjnego) wraz z wykorzystaniem dużej liczby dostarczycieli informacji pozwala na uzyskanie klarownych i jednoznacznych informacji dotyczących teorii systemów, cybernetyki i ewolucji, jak i podstawowych pytań filozoficznych człowieka.

## Bibliografia

1. „World Wide Brain” – Ben Goertzel – [www.goertzel.org](http://www.goertzel.org)
2. “Bootstrapping knowledge representations: from entailment meshes via semantic nets to learning webs” – Francis Heylighen – dokument umieszczony na Principia Cybernetica Web ([www.pcp.lanl.gov](http://www.pcp.lanl.gov))
3. “Evolutionary Transitions: how do levels of complexity emerge?” – Francis Heylighen – dokument .pdf umieszczony na Principia Cybernetica Web ([www.pcp.lanl.gov](http://www.pcp.lanl.gov))
4. “Algorithms for the self-organisation of distributed, multi-user networks. Possible application to the future World Wide Web” – John Bollen & Francis Heylighen - dokument umieszczony na Principia Cybernetica Web ([www.pcp.lanl.gov](http://www.pcp.lanl.gov))
5. “Foundations and Methodology for an Evolutionary World View: a review of the Principia Cybernetica Project” – Francis Heylighen - dokument umieszczony na Principia Cybernetica Web ([www.pcp.lanl.gov](http://www.pcp.lanl.gov))
6. [www.oxygen.lcs.mit.edu](http://www.oxygen.lcs.mit.edu)
7. [www.pcp.lanl.gov](http://www.pcp.lanl.gov)