**1) Opis programowania agentowego**

**1.1) Programowanie obiektowe kontra programowanie agentowe**

Programowanie obiektowe (ang. object-oriented programming, OOP) jest obecnie najpopularniejszym i najważniejszym paradygmatem stosowanym do tworzenia oprogramowania. Stanowi ono również podstawę dla innych paradygmatów, takich jak programowanie aspektowe (ang. aspect-oriented progrming, AOP) oraz programowanie generyczne (ang. generic programming). [1] Programowanie obiektowe może przybrać również bardziej wyspecjalizowaną formę nazywaną programowaniem agentowym (ang. agent-oriented progrming, AOP). [4] Poniższe podpunkty przedstawią oba paradygmaty oraz dokonają ich porównania.

* + 1. **Opis programowania Obiektowego**

Programowanie obiektowe jest paradygmatem, w którym do tworzenia programów wykorzystuje się elementy zwane obiektami. Obiekty stanowią abstrakcyjne byty programistyczne, które stanowią przestrzeń problemów rozwiązywanych przez program. Ten fakt nadaje programowi cechę dostosowywania się do języka danego zagadnienia. Oznacza to rozpatrywanie problemów we właściwych, bliższych myśleniu człowieka kategoriach, w odróżnieniu od kategorii maszyny, na której uruchomiony jest program.[2] Przykładem może być prosta układanka składająca się z pewnej liczby elementów przesuwanych po planszy przez użytkownika. Elementy układanki, jak i sama plansza mogą stanowić obiekty, które programista jest w stanie wykorzystać do napisania programu. Każdy obiekt może posiadać pewne dane wewnętrzne odpowiadające za jego stan, zestaw funkcji lub metod, będących jego zachowaniem, oraz możliwość odróżnienia danego obiektu od innego, zwana tożsamością. Informacje na ten temat przechowywane są w klasie. Zmienne należące do klasy nazywane są polami klasy, a obiekt utworzony na podstawie klasy jej instancją. Przykład kodu klasy dla języka Java został zawarty w listingu 1.

**public** **class** Account {

**private** **double** balance;

**public** **double** getBalance() {

**return** balance;

}

**public** **void** deposit(**double** depositValue)

{

balance += depositValue;

}

**public** **boolean** withdraw(**double** withdrawValue)

{

**if**(withdrawValue <= balance){

balance -= withdrawValue;

**return** **true**;

}

**return** **false**;

}

}

Listing 1. Klasa stanowiąca implementacje konta bankowego.

Przykład klasy zaprezentowanej na listingu 1 posiada zmienną typu zmiennoprzecinkowego o nazwie balance, która stanowi wartość depozytu bankowego. Każda instancja tej klasy posiadać będzie własną wartość tego pola. Zachowanie obiektów klasy Account zdefiniowane jest w funkcji withdraw i metodzie deposit, służących do zmiany wartości konta oraz w funkcji getBalance zwracającej aktualny stan konta. Wspomniane metody i funkcje stanowią interfejs klasy Account, ponieważ określają jakie akcje lub żądania mogą zostać wykonane względem obiektów tej klasy. Z powyzszego wynika, że zachowanie i rola obiektów w programie zależy od klasy, którą dany obiekt reprezentuje. Obiekty tworzące program mogą komunikować się ze sobą w celu wykonywania zaprogramowanych dla nich zadań. Sposób w jaki to robią polega na wzajemnym wywoływaniu przez nie operacji w postaci metod i funkcji. Najczęściej wykorzystywaną techniką umożliwiająca komunikację między obiektami jest posiadanie jednego obiektu przez inny. Powyższe twierdzenie może zilustrować dowolna klasa posiadająca na przykład pole typ Account. Obiekty takiej klasy mogłyby komunikować się z posiadanymi przez nie obiektami poprzez wartości argumentów, wywoływanych przez nie, metod i funkcji .

Obecnie OOP dzieli się na dwa podtypy które odróżniają się odmiennym sposobem tworzenia obiektów. Jest to programowanie oparte o wspomniane wyżej klasy. Ten podtyp jest wykorzystywany w językach takich jak Java, C++, C# i wiele innych. [2] Drugim podtypem jest programowanie oparte o prototyp(ang. Prototype-based programming), gdzie nowy obiekt tworzony jest w oparciu o już istniejący, wykorzystywany w głównej mierze w językach skryptowych, takich jak Perl, Java Script, czy LUA. [3]

Najważniejsze założenia paradygmatu obiektowego to:

• Abstrakcja – polega na pomijaniu pewnych szczegółów w celu uproszczenia sposobu rozwiązywania problemów. Przykładem może być obiekt reprezentujący samochód, który w zależności od systemu może zawierać cechy takie jak barwa, numer rejestracyjny i dane właściciela lub szczegółowe wymiary, numer silnika i dane fabryki, która go wyprodukowała. Oba przypadki odrzucają pewne cechy i skupiają się tylko na tych, które program potrzebuje. [2]

• Hermetyzacja – pomaga chronić obiekty przed niepowołaną zmianą stanu, użyciem funkcji lub metody poprzez wprowadzenie kontroli dostępu do wszystkich jej składników. Hermetyzacja wymusza korzystanie z klasy tylko w założony przez jej twórcę sposób, co eliminuje konieczność zabezpieczania programu przed skutkami ubocznymi użycia klasy w błędny sposób oraz pozwala na zmiany wewnętrznych, chronionych mechanizmów bez utraty kompatybilności z resztą programu. Z punktu widzenia użytkownika klasy, hermetyzacja pozwala na odróżnienie elementów dla niego istotnych, do których ma dostęp, od tych które powinien zignorować. W obiektowych językach programowania, takich jak Java lub C++ używa się najczęściej trzech modyfikatorów dostępu. Public oznacza, że dana funkcja lub pole jest widoczne poza klasą, private – tylko w obrębie danej klasy, albo protected, kiedy funkcja, czy pole są chronione jedynie przed dostępem z zewnątrz.[2]

• Dziedziczenie – jest mechanizmem, który pozwala rozszerzyć lub zmienić zachowanie klasy tworząc na jej podstawie nową klasę lub klasy. Klasa, po której następuje dziedziczenie jest nazywana klasą bazową, a klasa dziedzicząca – klasą pochodną. Dziedziczenie, nie tylko pozwala na rozszerzanie klas, ale tworzy też pewną hierarchę. Przykładem może być klasa „zwierzę”, dla której klasami pochodnymi są klasy „słoń” , „lew” i „zebra”. Klasy pochodne (te które nie są chronione przed dziedziczeniem) posiadają cechy klasy „zwierzę” oraz dodają do nich swoje bardziej wyspecjalizowane cechy lub zachowania. Ukazaną hierarchię można określić jako przejście od jednego ogólnego typu do wielu wyspecjalizowanych typów. W zależności od języka programowania klasa pochodna może dziedziczyć tylko z jednej lub z wielu klas bazowych. [2]

• Polimorfizm – jest związany bezpośrednio z dziedziczeniem. Pozwala on na używanie instancji klas pochodnych, tak jakby były typu bazowego, jednakże obiekt wciąż zachowuje swoje oryginalne zachowanie. Oznacza to, że obecny typ obiektu ma wpływ jedynie na to jakich funkcji możemy użyć, a nie na to z jakiej klasy zostaną wywołane. Jest to możliwe dzięki mechanizmowi zwanemu późnym wiązaniem (ang. late binding) pozwalającym na wykonanie odpowiedniego kodu dopiero w czasie działania programu. Polimorfizm umożliwia bardzo elastyczne rozszerzanie programu o nowe typy pochodne, bez konieczności zmiany implementacji funkcji, które z nich korzystają. [2]

* + 1. **Opis programowania agentowego**

Programowanie agentowe można zdefiniować jako paradygmat programowania wykorzystujący idee agentów (ang. software agents), wysoce wyspecjalizowanych jednostek obdarzonych pewnymi cechami sztucznej inteligencji. AOP stanowi rozwinięcie paradygmatu obiektowego i zmienia sposób postrzegania programu komputerowego, nie jako ciągu instrukcji wykonywanych przez maszynę, lecz jedną lub wiele samodzielnych jednostek wykonujących założone przez programistę cele. [4]

Pojęcie agenta jest znacznie trudniejsze do zdefiniowania, wynika to z braku jednoznacznego i ogólnie akceptowanego określenia czym jest agent. Wiele proponowanych definicji posiada wspólne elementy takie jak określenie agenta autonomiczną jednostką. [5] Jedną z możliwości prezentuje w swoim opracowaniu Michael Wooldridge:

*„Agent jest to system komputerowy, który znajduje się w jakimś środowisku i jest zdolny do samodzielnego działania w tym środowisku, w celu spełnienia swoich celów.”* [A]

Natomiast według Yoav Shohama:

„*Agent jest jednostką, której stan jest postrzegany jako składający się z elementów takich jak przekonania, możliwości, wybory i zobowiązania.”* [B]

Ustosunkowując się do powyższych definicji, słowa Wooldridga można potraktować jako ogólną definicję budowy i działania agenta, natomiast Shoham przedstawił wewnętrzny stan agenta, który ma wpływ na jego zachowanie. [6][7]

Integralną częścią systemu agentowego jest otoczenie agenta, czyli środowisko, wspomniane w definicji Wooldridga.

AGENT

ŚRODOWISKO

Sensor

Akcja

Rysunek 1. Abstrakcyjny schemat agenta według Wooldridga.

Rysunek 1 prezentuje sposób interakcji agenta z jego środowiskiem, który na podstawie danych uzyskanych za pośrednictwem sensora wykonuje akcje mające wpływ na środowisko. W zależności od domeny, w jakiej wykorzystywane jest programowanie agentowe, agent może nie mieć całkowitej kontroli nad środowiskiem z powodu jego skomplikowania. Oznacza to, że wykonywane akcje mogą prowadzić do niedeterministycznych rezultatów, co z kolei może doprowadzić do uzyskania przez agenta rezultatów niekorzystnych z perspektywy jego celów. Przykładem środowiska niedeterministycznego może być Internet lub świat realny. Środowiskiem, w którym akcje generują pojedynczy i za każdym razem identyczny rezultat, jest środowisko deterministyczne, na przykład program komputerowy. Pozostałe cechy otoczenia agenta zostały przedstawione w tabeli 1. [6]

|  |  |
| --- | --- |
| Cecha | Warianty |
| Dostępność | Środowisko dostępne – agent jest w stanie pobrać wszystkie i zawsze aktualne stany środowiska. |
| Środowisko niedostępne – część stanów środowiska jest niedostępna dla agenta od razu lub w ogóle. |
| Dynamizm | Środowisko statyczne - zmiana w środowisku następuje tylko po akcjach agenta. |
| Środowisko dynamiczne – jest to typ środowiska do którego maja dostęp inni agenci lub na przykład procesy, a co za tym idzie stan środowiska między akcjami agenta może ulec zmianie. |
| Ilość stanów | Środowisko dyskretne – posiada stałą i skończona liczbę stanów. |
| Środowisko ciągłe – posiada nieskończoną liczbę stanów. |

Tabela 1. Klasyfikacja cech środowiska w programowaniu agentowym.

Podobnie jak cechy środowiska, cechy agenta również zostały sklasyfikowane. Michael Wooldridge wraz z Nicolas R. Jennings-em dzielą je pomiędzy dwa pojęcia agenta. Koncepcja słabego pojęcia agenta prezentuje go z perspektywy urządzenia lub programu komputerowego posiadającego następujące cechy:

* Autonomię(ang. autonomy) – oznacza to że agent nie jest uzależniony od człowieka, jego działania nie wymagają żadnych bezpośrednich interakcji z człowiekiem lub jego kontroli. Agent sam kontroluje swój wewnętrzy stan.
* Zdolności społeczne(ang. social ability) – agent potrafi komunikować się z innymi agentami lub z człowiekiem.
* Reaktywność(ang. reactivity) – poprzez sensory agent jest w stanie reagować na zmiany stanów zachodzące w jego środowisku. Na przykład urządzenie będące agentem i posiadające sensor w postaci kamery potrafi zareagować na zbliżający się do niego obiekt.
* Proaktywność(ang. Pro-activeness) - jest to umiejętność agenta do działania bez żadnego bodźca zewnętrznego jakim mogą być działania człowieka czy zmiana stanu środowiska by osiągnąć własne cele .

Silne pojęcie agenta przedstawia go jako jednostkę posiadając ludzkie cechy, takie jak:

* przekonania (ang. belief ),
* intencje (ang. intention),
* wiedzę (ang . knowledge),
* zobowiązania (ang. obligation).

Przypisywanie agentom powyższych cech jest charakterystyczne dla większości badaczy zajmujących się sztuczną inteligencją. Innymi cechami agenta mogą być między innymi:

* Mobilność (ang. mobility) – zdolność agenta do przemieszczania się poprzez sieć komputerową.
* Uczynność (ang. benevolance) – agenci nie posiadają sprzecznych celów i zawsze starają się wykonywać to o co są proszone.
* Racjonalność (ang. rationality) – agent stara się działać w taki sposób, by nie pozbawić się możliwości wykonania swojego celu. [6]
* Koordynacja (ang. Coordination) – wielu agentów może wykonywać swoje akcje w dzielonym środowisku.
* Uczenie się lub adaptacyjność (ang. learning or adaptivity) - na tą cechę składa się zdolność agenta do: elastycznego reagowania na zmiany w środowisku, zdolność do przejmowania inicjatywy zgodnie z wyznaczonym celem, uczenie się z własnego doświadczenia, środowiska lub interakcji.
* Wiarygodność (ang. veracity) – założenie, według którego agent świadomie nie będzie przekazywał fałszywych informacji. [9]

Na podstawie cech i zadań jakie mogą wykonywać agenci można je podzielić, między innymi, według poniższej topologii: [9]

* Współpracujący agenci - główną cechą tego typu agentów są zdolności społeczne. Wielu agentów współpracuje, by osiągnąć jeden cel.
* Agenci interfejsu - agenci ci wspierają użytkownika w interakcji z jedną lub wieloma aplikacjami, poprzez uczenie się od użytkownika lub innych agentów.
* Mobilni agenci - za wykorzystaniem sieci komputerowej ci agenci potrafią przemieszczać się w celu wykonywania zadań zleconych przez ich użytkownika.
* Agenci informacyjni - celem tych agentów jest manipulowanie lub kolekcjonowanie informacji pochodzących z wielu źródeł.
* Reaktywni agenci - prosty typ agenta reagujący na stany środowiska według schematu bodziec-reakcja.
* Hybrydowi agenci - hybryda różnych typów, stworzona w celu maksymalizacji ich silnych stron.
* Mądrzy agenci(ang. smart agents) - agenci cechujący się autonomią, umiejętnościami kooperacji i zdolnością do zdobywania wiedzy.

Podziału agentów można również dokonać ze względy na ich architekturę: [9]

* Agenci bazujący na logice – ich decyzje podejmowane są na drodze dedukcji.
* Agenci reaktywni – ich decyzje stanowią formę słownika, którego kluczem jest stan środowiska, a wartością podejmowana akacja.
* Agenci przekonanie – pragnienie – intencja (ang. belief-desire-intention, BDI) – ten typ agenta podejmuje decyzje na podstawie manipulacji struktur danych, reprezentujących trzy cechy: przekonania, pragnienia oraz intencje.
* Agenci oparci o architekturę warstwową – każda z ich decyzji jest oparta o warstwy, które rozpatrują obecny stan środowiska na różnych poziomach abstrakcji.

Dla paradygmatu programowania agentowego powstało wiele narzędzi oraz języków, które wspierają tworzenie systemów agentowych. Wiele z nich, jak na przykład szkielety aplikacji (ang. frameworks) czyli gotowe rozwiązania przygotowane do tworzenia nowych aplikacji opierają się o języki takie jak Java czy C++, natomiast języki agentowe stanowią całkowicie niezależne implementacje paradygmatu programowania agentowego.[9] Przykład programu wykorzystującego jeden z języków agentowych został przedstawiony na listingu 2.

PROGRAM "cleaning"

CAPABILITIES{

{ pos(P) } Goto(R) { NOT pos(P) , pos(R) },

{ pos(P) AND dirty(R) } Vacuum(R) { NOT dirty(R) },

{ pos(P1) AND box(P1)} Movebox(P1,P2) { NOT pos(P1), NOT box(P1), pos(P2), box(P2)},

{TRUE} IsClean() {clean()},

{TRUE} Transported() {transport()}

}

BELIEFBASE{

dirty(room1).

dest(room1).

box(room2).

pos(room3).

}

GOALBASE{ clean(), transport() }

PLANBASE{ }

PG-RULES{

clean() <- dirty(Room) |

{ Goto(Room);

Vacuum(Room);

if not dirty(R) then IsClean()

},

transport() <- box(Room) AND dest(Dest) |

{ Goto(Room);

Movebox(Room,Dest);

if box(Dest) then Transported()

}

}

PR-RULES{}

Listing 2. Przykład agenta zajmującego się czyszczeniem pokoju zdefiniowany w języku 3APL

Problematyka związana zagadnieniem języków i narzędzi agentowych została szerzej opisana w rozdziale 1.3 niniejszego opracowania.

* + 1. **Porównanie programowania obiektowego i agentowego**

Pozornie paradygmat obiektowy nie różni się znacznie od agentowego. Z punktu widzenia inżynierii w obu przypadkach program składa się z elementów posiadających własne stany, zachowanie oraz zdolności do komunikowania się między sobą. Pomimo tych podobieństw koncepcyjnie pomiędzy obiektami i agentami istnieją ogromne różnice.

Pierwsza różnica dotyczy stanów i zachowań obiektów i agentów. Agent jest jednostką obdarzoną autonomią z czego wynika, że żadna inna jednostka nie powinna posiadać bezpośredniego, ani też pośredniego dostępu do jej stanów. Zmiana stanu agenta może nastąpić tylko poprzez zmiany w jego środowisku. Ta sama zasada dotyczy zachowania agenta. Żadna inna jednostka nie powinna być w stanie wywołać bezpośrednio akcji agenta. Innymi słowy agent A nie może zmusić agenta B do działania, może za to wysłać żądanie do agenta B, który z kolei w zależności do swoich celów może je wykonać lub nie. Stanowi to przeciwieństwo podejścia obiektowego. Obiekty mogą chronić i kontrolować swój stan dzięki hermetyzacji, jednak nie jest to w żaden sposób wymagane i jest jedynie wolą programisty. Sytuacja jest podobna w przypadku zachowań obiektów, na przykład jeśli w języku Java metoda lub funkcja zostanie opatrzona słowem kluczowym *public* każdy obiekt może ją wywołać, bez żadnej kontroli.[6]

Kolejną różnicą jest sposób w jaki należy postrzegać stany agenta określone przez Yoav Shohama mianem stanów mentalnych. Stany obiektów nie są z góry określone, najczęściej są to dane wykorzystywane przez obiekty. Oznacza to, że obiekty różnych klas mogą mieć stany wewnętrzne rożnego typu. Agenci posiada jedynie stany określonych typów, na przykład przekonania, czy wybory mające wpływ na ich zachowanie. [7]

Programowanie agentowe uściśla zachowania agentów poprzez nadawanie im takich cech jak pro-aktywność, reaktywność, czy autonomię, a co za tym idzie każdy agent musi posiadać co najmniej jeden wątek pozwalający mu na działanie niezależnie od reszty systemu. Programowanie obiektowe natomiast nie wymaga od obiektów by posiadały jakiekolwiek wyżej wspomniane cechy, a więc oznacza to brak konieczności posiadania przez nie wątków.[6]

Pomimo przedstawionych różnic oba paradygmaty mają wspólny cel jakim jest dekompozycja problemów rozwiązywanych przez program. Wspomniany cel realizują jednak na różnych poziomach abstrakcji. Koncepcyjnie agent w stosunku do obiektu jest na wyższym poziomie abstrakcji. Agent jako pojedyncza jednostka w programie reprezentuje jakiś cel lub rolę, na przykład agent sprzątający pomieszczenia, natomiast pojedynczy obiekt stanowi najczęściej jedynie niewielki element większej całości, której celem może być również sprzątanie pomieszczenia.

Opisane porównanie zostało podsumowane w tabeli 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Programowanie obiektowe | Programowanie agentowe |
| Jednostka | obiekt | agent |
| Orientacja na | obiekty | cele i role |
| Parametry definiujące stan jednostki | niezdefiniowane | przekonania, intencje, wiedza, zobowiązania i inne |
| Sposoby komunikacji | przekazywanie komunikatów, wywoływanie metod/funkcji | przekazywanie komunikatów, wywoływanie metod/funkcji |
| Rodzaje wiadomości | niezdefiniowane | oferta, informacja, prośba, obietnica i inne |

Tabela 2. Porównanie programowania obiektowego i agentowego.

**1.2) Systemy wieloagentowe**

Oprogramowanie składające się z jednego agenta jest ograniczone w swoim działaniu, ponieważ pojedynczy agent powinien zajmować się tylko jednym zadaniem. W przypadku złożonych problemów, które wymagają wykonywania wielu różnych czynności konieczne jest wykorzystanie większej liczby wyspecjalizowanych agentów, którzy współpracowali by ze sobą. System oparty o takie założenia nazywany jest systemem wieloagentowym (ang. Multi-Agent System, MAS). Cechy systemów wieloagentowych to: [10]

* rozwiązywanie problemów zbyt dużych dla jednego zcentralizowanego agenta,
* komunikacja z wieloma systemami,
* rozwiązywanie problemów posiadających rozproszoną naturę,
* rozwiązywanie problemów związanych z wieloma rozproszonymi źródłami informacji,
* uproszczenie architektury systemu.

Ważną cechą agentów wchodzących w skład systemu wieloagentowego jest zdolność do interakcji a co za tym idzie komunikacji między sobą. Bez wspomnianych zdolności agenci nie byliby w stanie współpracować i osiągnąć zamierzonego dla systemu celu. Spośród wielu możliwości najbardziej znaczącymi sposobami komunikacji są protokoły komunikacyjne oraz utworzone w tym celu języki komunikacyjne agentów (ang. Agent Communication Languages, ACL). Oba typy posiadają różne zastosowanie, protokoły takie jak na przykład TCP/IP są najlepszym rozwiązaniem dla aplikacji biznesowych, natomiast języki sprawują się najlepiej dla systemów wykorzystujących tożsamych agentów.[9] Przykładem agentowego języka komunikacyjnego może być KQML(ang. Knowledge Query and Manipulation Language). Język KQML opiera się na przesyłaniu wiadomości między agentami, definiuje on format wiadomości, która składa się z performatywy (klasy wiadomości) oraz parametrów, będących parami klucz-wartość. Założeniem języka KQML jest umożliwienie komunikacji między agentami, bez względu na platformę, język czy paradygmat, według którego zostali napisani. Dla spełnienia tego założenia KQML wykorzystuje wirtualną bazę wiedzy (ang. virtual knowledge base, VKB) pozwalającą na ujednolicenie posiadanych przez agentów informacji. Bez VKB informacje znane agentowi A, napisanego w języku C#, mogły by być niezrozumiałe dla agenta B, stworzonego w środowisku Java, na przykład z powodu odmiennego formatu. W tabeli 3 umieszczono kilka przykładów performatywy.

|  |  |
| --- | --- |
| Performatywa | Opis |
| ask-one | Agenta A chce jedną odpowiedź od agenta B na pytanie P. |
| sorry | Agent nie może wysłać więcej informacji. |
| recommend-all | Agent chce od reszty agentów znających odpowiedź na pytanie P przesłania swoich imion (identyfikatorów). |
| error | Agent A uważa, że poprzednia wiadomość agenta B była źle sformułowana. |
| insert | Agent A prosi Agenta B o dodanie treści do jego VKB |

Poniższy listing zawiera wiadomości KQML będące zapytaniem o cenne akcji firmy IBM.

(ask-one

:content (PRICE IBM ?price)

:receiver stock-server

:language LPROLOC

:ontology NYSE-TICKS

)

Listing 3. Przykład wiadomości KQML

Pierwszym słowem kluczowym każdej wiadomości KQML jest performatywa, następnie po dwukropkach podane są parametry[6]:

* content – treść wiadomości,
* receiver – nawa adresata wiadomości,
* language – język, w jakim zapisano treść wiadomości (nadawca zakłada, że odbiorca rozumie ten język),
* ontology – nazwa terminologii opisująca domenę, w której działają agenci, w przypadku tej wiadomości domeną jest nowojorska giełda papierów wartościowych.

**1.3) Rozwój programowania agentowego**

Pojęcie programowania agentowego zostało ukute przez Yoav Shohama w 1990 roku[4], jednak sam termin agenta jest dużo starszy. Pierwsze koncepcje agenta pojawiły się już w połowie lat 50-tych za sprawą Johna McCarthy’a oraz Olivera G. Selfridge’a. Jeden z badaczy Hyacinth S. Nwana w 1996 roku podzielił rozwój technologii agentowej na dwa pasma. Pierwsze z nich rozpoczęło się w 1977 roku, gdy Carl Hewittís stworzył matematyczny model nazwany modelem aktora, wprowadzający koncepcje samowystarczalnego i interaktywnego obiektu. Pasmo to wywodzi się głównie z badań nad rozproszoną sztuczną inteligencją (ang. Distributed Artificial Intelligence, DAI) i koncentruje się miedzy innymi nad takimi zagadnieniami jak interakcja i komunikacja między agentami, dekompozycja i podział zadań, koordynacja i kooperacja, rozwiązywanie konfliktów poprzez negocjacje. Są to typowe zagadnienia dla systemów składających się z wielu agentów. Pasmo drugie rozpoczęło się około 1990 roku i kładzie nacisk na prace nad szerokim zakresem typów agentów. [11] [12]

Wraz z rozwojem programowania agentowego tworzono nowe technologie, które miały na celu wspomaganie programisty w wykorzystaniu tego paradygmatu. Technologie agentowe można podzielić pomiędzy przygotowane dla języków obiektowych platformy i szkielety aplikacji oraz specjalnie stworzone dla paradygmatu agentowego języki. Pierwszym językiem agentowym był AGENT0, a jego twórcą był Shoham. Język AGENT0 definiuje agenta na podstawie czterech zbiorów: możliwości, przekonań, intencji i zobowiązań. W systemach wieloagentowych opartych o ten język komunikacja między agentami odbywa się za pomocą wiadomości podzielonych na trzy typy: żądanie (ang. request), odwołanie żądania(ang. unrequest) i informacje, czyli przesłanie informacji. Agenci wykonywali swoje działania na podstawie prostej pętli, która była przez nich iterowana, pierwsza iteracja powodowała wczytywanie wiadomości i jeśli było to konieczne, aktualizację przekonań i intencji, druga powodowała wykonanie zobowiązań dla obecnej iteracji. Pomimo bycia bezpośrednią implementacją paradygmatu obiektowego AGENT0 jest bardziej prototypem, niż językiem agentowym, w pełnym tego słowa znaczeniu. AGENT0 doczekał się swoich następców w postaci języków PLACA (ang. PLAnning Communicating Agents) i Agent-K. PLACA rozszerzał zdolności agentów o planowanie, co znacznie zmniejszało intensywność komunikacji, jednak tak jak jego poprzednik nie posiada praktycznego zastosowania. Agent-k również usprawniał sposób komunikacji poprzez wykorzystanie języka komunikacyjnego KQML. Spośród pozostałych języków agentowych można wyróżnić te, które bazują o architekturę BDI, są to między innymi: AgentSpeak, 3APL i jego następca 2APL. Dużą części technologii agentowych stanowią narzędzia oraz platformy, których jest ponad sto, pośród nich ważną role odgrywają ZEUS i JADE, będące otwartym oprogramowaniem, oraz JACK Intelligent Agents, który jest komercyjnym projektem. Wszystkie trzy platformy zostały zbudowane na bazie języka Java i pozwalają nie tylko na tworzenie systemów agentowych, ale również zawierają narzędzia, na przykład umożliwiające odnajdywanie błędów. JACK posiada również własny język agentowy nazwany JAL (ang. JACK Agent Language), który jest rozszerzeniem języka Java. Spośród wymienionych platform najbardziej popularną jest JADE, pozwalająca na tworzenie systemów wieloagentowych na wielu komputerach połączonych siecią. Architektura JADE opiera się o kontenery rozproszone pomiędzy wiele komputerów z jednym głównym kontenerem, do którego podłączone są pozostałe. Każdy kontener posiada zestaw agentów komunikujących się ze sobą w asynchroniczny sposób. Inne platformy agentowe to między innymi agenTool, RETSINA, JATLite MADKIT orazFIPA-OS.[13] Technologią wspólną dla platformy, jak i języków agentowych są języki komunikacyjne pozwalające na komunikację miedzy agentami. Ilość ACL nie jest tak zróżnicowana, jak platformy czy języki agentowe. Najpopularniejszymi językami wyznaczającymi standardy w tej dziedzinie są KQML i FIPA-ACL. Oba języki są do siebie podobne i różnią się głównie ilością performatywy oraz parametrów. KQML nie jest obecnie rozwijany, jednakże doczekał się swoich następców na przykład KQML-Lite. [14]

W miarę powstawania nowych technologii potrzebą stało się określenie standardów dla platform i języków, z tego powodu powstało wiele organizacji i stowarzyszeń tworzących specyfikacje dla programowania agentowego. Jedną z nich była FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents) założona w 1996 roku i zrzeszająca zarówno organizacje, jak i osoby fizyczne. W 2002 roku organizacja ta opublikowała 25 specyfikacji obejmujących takie zagadnienia, jak architektura i komunikacja systemów agentowych.[15] Wiele platform używa standardów FIPA, są to między innymi wspomniane w poprzedniemu akapicie JADE, JACK Intelligent Agents, ZEUS oraz środowisko SPADE dla języka Python.[16] Poza standardami, FIPA stworzyła wspomniany wcześniej język komunikacyjny FIPA-ACL oraz platformę FIPA-OS. FIPA działała do 2005 roku, gdy połączyła się z IEEE (ang. Institute of Electrical and Electronics Engineers) globalną instytucją zajmującą się standaryzacją technologii informatycznych.[15] Inną organizacją zbliżoną do FIPA jest APSIG (ang. Agent Platform Special Interest Group), która działa do dnia dzisiejszego i należy do grupy OMG (ang. Object Management Group). Celami APSIG są między innymi[17]:

* identyfikacja i rekomendacja specyfikacji,
* promocja języków i technik zwiększających spójność specyfikacji,
* wspomaganie programistów w lepszym zrozumieniu jak tworzyć aplikacje agentowe,
* współpraca z innymi organizacjami posiadającymi podobne cele.

Poza wspomnianymi organizacjami zajmującymi się standaryzacją istnieją stowarzyszenia których głównym celem jest rozwój i badania technologii wykorzystujących idee agentów, są to między innymi AgentLink i MESSAGE (ang. Methodology for Engineering Systems of Software AGEnts). [18]

**1.4) Przykłady zastosowań agentów**

Systemy jedno i wieloagentowe posiadają szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, zarówno tych znanych z życia codziennego, jak zakupy, czy też naukowych, na przykład modelowanie zachowań. Poniższej zostanie przedstawionych jedynie kilka możliwości, jakie daje wykorzystanie agentów.

Jednym z bardziej trywialnych przykładów wykorzystania programowania agentowego jest oprogramowanie dla samodzielnego robota zajmującego się odkurzaniem pomieszczeń. Robot sam potrafiłby poruszać się po budynku, w celu odnajdywania kurzu i dostosowywać czas swojego działanie do rytmu życia właściciela. Z technicznego punktu widzenia urządzenie byłoby w stanie poruszać się po pomieszczeniach na podstawie danych uzyskanych z sensorów, natomiast plan budynku mogłby stanowić wiedzę agenta o otoczeniu. Środowisko takiego agenta byłoby w pełni dynamiczne, na przykład mogłoby nastąpić przemeblowanie, co zmusiło by agenta do zmiany swoich stanów i wyboru innej drogi.[19]

Powyższy przykład, choć traktuje o programowaniu agentowym, jest w znacznym stopniu powiązany z robotyką. Przykładem agentów związanych tylko z oprogramowaniem mogą być jednostki wykonywujący różne usługi dla użytkownika, które kolokwialnie można nazwać pomocnikami. Agenci, w zależności od potrzeb, działaliby samotnie lub w grupach. Pojedynczy pomocnik dobrze sprawdzałby się w roli informatora o przychodzących wiadomościach e-mail, agent na postawie wiedzy zgromadzonej o użytkowniku mógłby informować go jedynie o interesujących dla niego wiadomościach. Grupa agentów mogłaby zostać wykorzystana do wyszukiwania informacji, na przykład o najniższych cenach wybranych przez użytkownika produktów. Agenci, dzięki zdolności komunikacji, informowaliby się wzajemnie o stronach, które już odwiedzili dla optymalizacji procesu szukania.[19]

Z powodu swoich cech oraz sposobu działania agenci doskonale nadają się do tworzenia symulacji, w szczególności tych związanych z zachowaniami społecznymi. Dzięki autonomii, zdolności do komunikacji i swoim stanom wewnętrznym, takim jak przekonania, czy intencje agenci mogą symulować między innymi zachowania grup zwierząt. Na podstawie takich symulacji można przewidywać szlaki wędrówek zwierząt lub reakcje stada na różne wydarzenia, jak na przykład atak drapieżnika.[19]

Zastosowanie agentów może mieć również wymiar biznesowy czego najlepszy dowodem jest system produkcyjny Production 2000+ wspomagający wytwarzanie głowic cylindrów dla samochodów marki Mercedes-Benz. Production 2000+ był systemem wieloagentowym posiadającym następujące cele:

* maksymalizacja ilości wytwarzanych cylindrów,
* elastyczność – system mógł obsługiwać wiele różnych wariantów tego samego produktu lub nowe typy produktów,
* dbanie o jakość wytwarzanych części.

System zajmował się obsługą taśmy produkcyjnej, a każdy jej aspekt posiadał swoich agentów na przykład zajmujących się kontrolą obciążenia maszyn. Testy wykonane na prototypie Production 2000+ wykazały 20% zwiększenie przepustowości taśmy produkcyjnej.[20]

[1]- <http://www.americanscientist.org/issues/pub/the-post-oop-paradigm>

[2] - Think In Java B. Eckel

[3]- http://en.wikipedia.org/wiki/Prototype-based\_programming

[4] – Agent-oriented progrming –Yoav Shoham

[5] - http://www.msci.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html

[6] - An Introduction to MultiAgent Systems - Michael Wooldridge

[7] - Agent oriented programming: An overview of the framework and summary of recent research- Yoav Shoham

[8] – Inteligent Agents: Theory and Practice – Michael Wooldridge, Nicolas R. Jennings

[9] - Software Agent Technology: an Οverview Application to Virtual Enterprises - Chrysanthi Ε. Georgakarakou, Anastasios A. Economides

[10] - Software Agents: A review - Shaw Green, Leon Hurst ,Brenda Nangle, Dr. Pádraig Cunningham, Fergal Somers, Dr. Richard Evans

[11] - Software Agents: An Overview - Hyacinth S. Nwana

[12] - Software Agents - Jeffrey M. Bradshaw

[13] - Software Agents: Languages, Tools, Platforms - Costin Bădică, Zoran Budimac, Hans-Dieter Burkhard, Mirjana Ivanović

[14]- A Communication Infrastructure to Support Knowledge Level Agents on the Web - Davide Guidi

[15] - <http://www.fipa.org/>

[16] - <http://en.wikipedia.org/wiki/FIPA>

[17] - http://agent.omg.org/

[18] -http://pdf.aminer.org/000/248/269/a\_standardization\_effort\_for\_agent\_technologies\_the\_foundation\_for\_intelligent.pdf

[19]- <http://codeguru.geekclub.pl/baza-wiedzy/programowanie-agentowe-agent-behawioralny,2492>

[20]- http://www.stefan-bussmann.de/en/agents/p2000p.html

[A] - *An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous action in this environment in order to meet its design objectives.*

[B] - *An agent is an entity whose state is viewed as consisting of mental components such as beliefs, capabilities, choices, and commitments.*