

1. はじめに

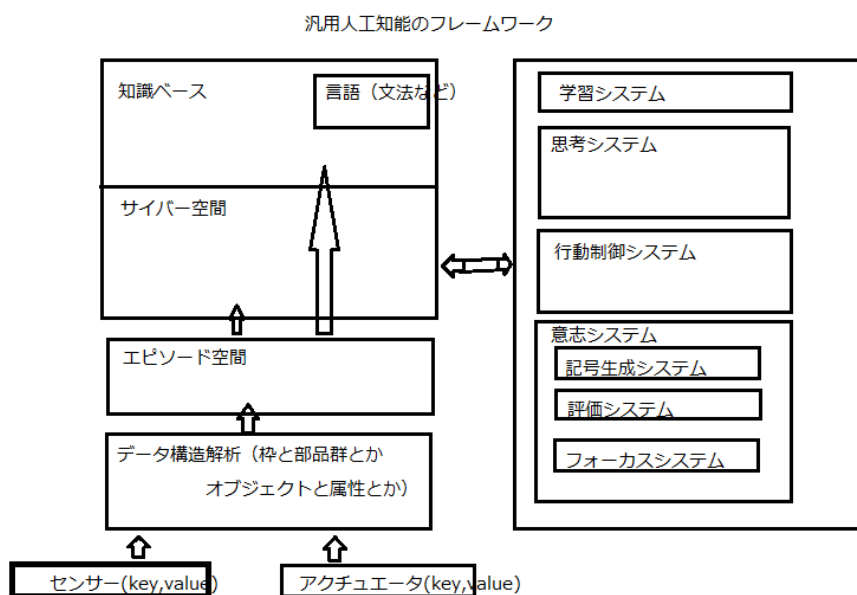
物理世界で生活し、適切に思考・行動していく汎用人工知能を構築するためのフレームワークを提示していこうと思います。

フレームワークは多数の領野に分散しているデータとプロセスによって実現します。それぞれの領野は固有の構造の空間を成しています。そこで、空間という観点からフレームワークを説明していきます。

なお、「モジュール構成書」の内容を一部改良して説明しています。よりスッキリした記述に成っていると思います。

2. フレームワークの構造

フレームワークは、さまざまな領野により構成されます。中心になるのは、サイバー空間と知識ベースとエピソード空間です。そこに、センサーとアクチュエータの (key,value) セットからオブジェクトとオブジェクト属性とオブジェクトの配置関係が空間として構築されていきます。思考や行動は、このサイバー空間と知識ベースのデータを利用していくことで実現します。



センサーからのデータは、「データ構造解析」部で解析され、オブジェクトとかオブジェクトの属性、オブジェクト間の関係を得て、エピソード空間にマップ（時間と空間）として配置して認識処理とされます。認識処理は、生活の中で得たサイバー空間、知識ベースの枠

組の中に埋め込むことで実現されます。既存の知識が発火することになるからです。そうして、エピソード空間の内容は時間を経て、サイバー空間、知識ベースに反映されます。知識ベース、サイバー空間の内容を利用することにより、思考システムや行動制御システムが実現されます。

空間はイメージが主体ですが、思考・行動を発現するため、記号システムも重要になります。その記号システムの生成は意志システムが実現します。

空間を構成するデータには次のものがあります。詳しくは、「モジュール構成書」を参照下さい。

- (key,value)
- コマンド
- セット
- グラフ
- マップ
- ニューロン
- プロダクションシステム

これらのデータ要素は集結して領野を成します。また、テーブルというデータ形式もありますが、それは (key,value) とグラフやセットの結合した物として実現します。

【意志システム（記号生成システム）】

意志によって、サイバー空間と知識ベースのデータを基に、思考や行動が行われます。それは、サイバー空間や知識ベースのデータ要素がイメージだけでなく、記号（名前）が与えられ、その記号を操作することによって、新しいデータを創造していく能力が実現するからです。意志の基本は記号生成であり、記号を振られたイメージなどの事象をコンセプトとして意志は発現していきます。

（１）コンセプトの名前付け

汎用人工知能への入力値はセンサー値であり、出力はアクチュエータ値であり、いずれも（key,value）という形式で表現できるデータです。Key はセンサーやアクチュエータの識別子です。

そのセンサー値からデータ要素の塊であるチャンクをオブジェクトとして切り出しコンセプトとしていきます。この時にチャンクに名前（記号）を振ります。これは、次々に新しい記号を振るのですが、同じコンセプトであると判断したものは同じ名前にします。それは、時間的に早い名前をもって相同コンセプトの名前として採用します。

領野を検索し易いように、コンセプトはあらかじめ決められたオントロジー（特別な意味を持った記号）の組み合わせで検索できるサブ領野に分割しておくことにします。例えば、「生き物」というオントロジーは重要でしょう。「生き物」というオントロジーを含むコンセプト（「人間」とか）を検索するとき、ダイレクトにこのサブ領野に行き着くことは高速な処理には欠かせません。オントロジーをキーとして、サブ領野のコンセプトをセットとするテーブルを作ることになります。そうして、オントロジーには素数を割り振り、複数のオントロジーがキーとなって検索することを考えたとき、素数の積をキーにして検索し、オントロジー指定の順序によらずに検索できるようにします。

なお、オントロジー記号と意志システムでの記号の生成の整合性を取るために、オントロジーはサイバー空間（同時に知識ベース）に接地している必要があります。接地していれば、記号の割り当ての優先順位管理によって、あとから記号を割り当てようとしたオントロジー相当コンセプトに、既に割り当ててある記号を割り当てることができるからです。

サイバー空間とか知識ベースとか、領野に分散しているコンセプトを統一管理する必要があります。それには、コンセプトに割り振られる記号（名前）をもってすることとします。同じ名前のコンセプトが、サイバー空間にも知識ベースにもあったとすれば、それは同じコンセプトの視点を変えた表現であると解釈するものとします。

(2) コマンドの生成

フィジカル空間はオブジェクトとオブジェクト属性、オブジェクトの関係、オブジェクトの変化として把握できます。そこで、フィジカル空間を写すサイバー空間のコンセプトは次の形式のコマンドとして表現されます。

(動詞[格,名詞・属性]・・・)

動詞はオブジェクトの変化を、名詞はオブジェクトを、属性はオブジェクトの属性であり、格はオブジェクト間の関係を表わします。

コマンドの生成は、先ず、事象としてサイバー空間内のデータ要素(チャンク)が切り取られることから始まります。「ボールを蹴った」という様子は先ずイメージとして、チャンクとしてコンセプトになります。次に、「石を蹴った」という様子から、交差法により、オブジェクトとして、「ボール」と「石」というものが切り出されます。そして「蹴って」なにかが動く・・・飛翔するというイメージから「蹴った」という動詞が切り出されます。そうして、動く物が「ボール」とか「石」というものであることから、格が与えられます。

こうしてコマンドは精緻化していきます。意志はこのコマンドを状況に応じて発行することで、発現していきます。

コマンドを用いて、コンセプトの (and,or,not) と (be,act) を管理します。And の事象はコマンドを介して、(be) のもとに引数として表現することとします。

(3) 思考・行動の自律的制御

意志は、現行の行動を取るか、いくつかの予定していた行動の一つを取るか、外界の事象に即応していくかといったことを選択しながら、思考・行動を実現していきます。これらは、意志システムのテーブルに項目を設定して、それに思考・行動のプロセス要素を登録しておくことで、それらのどれかを選択すればよいように、用意周到な構造にしておくべきです。そうして、選択は評価システムのメリット、デメリット判定によって行われます。様々な状況からのシステムのノード群の発火の強さの分布から重要な項目を調停場に上げ、その中で、更に様々に評価して1本の思考・行動を選択していきます。

【評価システム】

評価システムは評価項目と評価プロセスのなすテーブルです。

(1) 評価プロセス群

評価項目はコンセプトとして所定の知識ベースに設定されてます。そのどれかが、どれだけ強く発火したかということを見ます。

規範に則った行動・思考を展開しているかといった規範システムも評価システムの一部ですし、意志システムも内部にプロダクションシステムの構造をしたパターンマッチングと評価プロセスという対の知識ベースを持っています。このように、人工知能のあらゆる所に、あらゆる活動に評価システムは関わってきます。

(2) 評価システムの獲得と利用

評価システムのコアな評価項目（オントロジー）は、ダメージ/メリット増加のセンサー（key,value）です。あとの様々は評価項目は、共起によって連想付け・・・ときには重み付き投票（ディープラーニング）やロジックプロセスとして獲得していきます。評価は調停場に対して行います。行動や思考の中心データがフォーカスで与えられるのに対して、評価の対象は調停場で取り扱われます。

【フォーカスシステム】

フォーカスはサイバー空間と知識ベースの極小空間としてノードのセットで指定します。そのセットを使って、マップ（画像データ）を多数の解析プロセスが共有します。そうして、SLAMによって、ノード群と解析結果がエピソード空間に配置されます。

フォーカスはまた、言語表出や目標管理思考で重要となる機構です。すなわち、言語表出や目標管理思考の対象となる事象（ノード群）を特定し、これらの行為を制御するのです。正に、意志の発動です。

「ボールを掴む」イメージを言葉に表出するのに、「ボールを掴む」イメージがサイバー空間にあって、それに知識ベースのコマンド（have,direct_object,ball）があって、これを空間検索して、言葉に変換します。これは言語の文法知識（ATN）を参照しながら行います。

【サイバー空間】

3次元の空間と1次元の時間空間の中にオブジェクトとオブジェクトの属性を配置してできる空間です。この空間は、世界空間と作業に応じて造られるローカル空間と視野空間があります。それぞれ SLAM によって整合性が維持されています。また、空間は粗い座標から精細な座標まで幾層にもなって構成されます。そうして、空間上の点はノードとして色々な事象が結合されます。それは事象の空間上の配置を表わします。サイバー空間の事象の基本は、センサーとアクチュエータの(key,value)セットです。これらをオントロジーとします。このセンサーの特殊なものとして、

- (1) 相同と相異
- (2) ダメージとメリット増加

があります。

【知識ベース】

記号を主体とするデータエリアです。この中の要素は連想関係(グラフで表現されます)で結ばれます。記号は主にコマンドです。記号はサイバー空間によって接地されます。

この知識ベースには象徴的に言語の能力が含まれます。言語能力はサイバー空間の内容を見ながら文法やシナリオ(ステートマシン)を駆使して発話したり、他者の言葉を認識します。言語の、この発話能力・認識能力はステートマシンとなるグラフ構造のデータによって実現されます。それは時系列データを処理するのに有効な機構を構築しやすくなる技術だからです。このときの言語能力の獲得については、コンテンツ「考察：言語獲得システム(交差法)」を参照下さい。

【エピソード空間】

入力データの構造が得られると、オブジェクトとその属性が空間配置関係に展開されます。そこで、サイバー空間にあるマッチングする部分空間を切り出し、エピソード空間に展開します。

入力データの認識は、この展開された部分空間群の中の一つの空間に入力データのオブジェクトやその属性を埋め込んでいき、部分空間に連想している知識ベースの部分情報から、全体の状況の中での入力データの位置づけを推測しながら今の状況を確認していくことで実現しますエピソード空間は入力データの知識空間内の位置づけを認識する機構であると言えます。

【データ構造解析】

1次元と2次元の解析があります。2次元の解析では、適時1次元に落として解析していきます。1次元も2次元も、フォーカスを移動していくことで、フォーカスに集中して無数の解析項目をこなします。そうして、フォーカスを移動しながら SLAM によって、全体のデータ構造を得ていきます。

画像認識が主な能力ですから、まず、それについて考えて見ます。

- ・ オブジェクト抽出とオブジェクト属性抽出
- ・ クラスタリング
- ・ 繰り返しパターン発見
- ・ 周波数解析

(1) オブジェクト抽出とオブジェクト属性抽出

オブジェクト抽出は枠と部品群という2次元画像データの構造を手がかりに実現します。枠は基本的に閉曲線で、部品群はその中の画像要素の塊です。部品群は更にその内部に部品を持ちますから、その部品群に対しては枠となります。枠は、基本的に閉曲線と述べましたが、断線していることもあるし、単なる線が曲がったものでも枠になることがあります。そのことに対応するには、断線している曲線の内部というものを推定したり、内部と判断した部品群から断線を枠として推定したりする必要があります。それには重み付き投票（ディープラーニング）が有効でしょう。線分群の配置関係や属性によって枠と部品を投票によって推定するのです。その時、ポテンシャル法も有効です。線分の周りに推定ポテンシャルを張って、複数の線分からのポテンシャルを合計して推定項目の確信度を測るのです。

このようなオブジェクト抽出とオブジェクトの属性の抽出は、フォーカスというある小さな領域で解析（多数の解析項目があります）して、そのフォーカスを世界全体を覆うように走査するのです。そうして解析結果を SLAM によって組み立てて世界の状況を得ていくのです。

2次元画像のオブジェクトの解析は、帯のような幅のある線というものを基本的に想定し、帯の両側を2個のフォーカスビームで挟んで、線の方向に走査していくという仕方で行うのが良いようです。

(2) クラスタリング

枠を標準の大きさに拡大縮小して重ね合わせて統計的に重なり具合を評価し、カテゴリーとして分類していきます。分布が重なるときには、t検定を行い分離するか相同とするか

を判断すると良いでしょう。

クラスタリングでは、オブジェクトの名前管理が重要です。相同と相異ですね。相同のオブジェクトは同じ名前にする必要があります。同じ名前のオブジェクトは同じコンセプトを表現するものになります。この名前管理は意志システムが行います。

(3) 繰り返しパターン発見

フォーカスの走査によって繰り返しパターンを発見します。走査中の画像はオブジェクトと部品群として把握されていますから、それと同じパターンのもを発見すれば、繰り返しパターンということになります。この繰り返しパターンの発見では、過去のパターンとの高速で多数の候補を照合しますから、計算資源を多く使うことになるでしょう。

計算としては、先ず、2つのパターンの相関を解析し（部分パターンの切り出しと回転、拡大・縮小を行います）、その相関の高いものを、更に画素対応して詳細にマッチングしていくこととなります。

(4) 周波数解析

繰り返しパターン間の距離を測定して周波数を求めます。

(5) オブジェクト（枠）の相同と相異判定

全くパターンが同じであれば相同とします。それ以外は基本的に相異と判定します。ですが、例えば、人間は同一人物でも、着ている服は大抵会う毎に異なります。それでも相同な人物と判定しなくてはならないわけで、どうしましょうかという問題が発生します。これについては、「データ構造解析」の問題で無く、「エピソード空間」の能力であるとします。すなわち、エピソード空間の処理では、特定のオブジェクトを追跡します。そのオブジェクトの連続的な変化の場合には相同としてコンセプトに異なるパターン群を登録していくこととなります。それでコンセプトとして相同と判断するように学習していきます。

【学習システム】

サイバー空間の獲得とか言語能力などの知識ベースの獲得は学習機構によって実現します。学習機構は、画像認識などの曖昧性のある細かな処理の中でも多用されますから、人工知能の至る所に分布している能力であると言えます。主な物は次のものです。

- ・ 交差法
- ・ 強化学習
- ・ クラスタリング
- ・ パーセプトロン

学習で得るデータエリアは次のものです。

- ・ コマンド
- ・ セット
- ・ グラフ (ステートマシン)
- ・ マップ
- ・ ニューロン
- ・ プロダクションシステム

(1) 交差法

大まかな括りの事象を交差させて、より細かな事象群を抽出する能力です。出力はグラフになります。細かになった事象はチャンクとして、グラフのノードに設定されます。

(2) 強化学習

共起事象を集積していき、事象間の共起の強さを把握していく機構です。連想関係のセットとか、原因結果関係のプロダクションシステムの構築に利用します。パーセプトロンの要素能力でもあります。

(3) クラスタリング

強化学習で得た共起関係のセットの中をいくつかの詳細のチャンクに分離する能力です。これにより、事象の細かな認識が可能になります。

(4) パーセプトロン

多数の事象からの重み付き投票により特定事象の判定の曖昧性を克服していく能力です。

【思考システム】

思考システムは次の推論システムの集まりです。

- ・ 連想による推論
- ・ シミュレーションによる推論
- ・ パターンマッチングによるプロダクションシステム型の推論
- ・ コマンドの実行

その他にユーティリティとして次の機能があります。

- ・ 数学能力
1対1対応や1の加法と1の減法、集合論とトポロジー的画像変形
- ・ 最適化能力
遺伝的アルゴリズムや三角法

思考システムの本体は、次の3つの領野からなります。

- ・ 直観
連想やシミュレーションを自動起動して結果を調停場に送り込みます。
- ・ 目標管理思考
直観が無意識下の自動プロセスなのに対して、目標管理思考は、プロセスの各実施毎に評価（意志のよとの制御をうけるといふこと）を行って、思考の推移を制御していくこととなります。
- ・ 調停場
評価の詳細な実施を行うためのデータエリアです。

（1） 連想による推論

「AならばB」というように、ワンパスで推論します。また、多数の入力データから軽重の連想関係、もしくは負の相関関係にあるものの投票によって何かの事象を連想することもあります。この場合はパーセプトロン機構を構成します。このパーセプトロンが多数連続してディープラーニングを構成することもあります。この場合、一大連想ネットワークを構成することになります。

（2） シミュレーションによる推論

動画を一定時間間隔の速度で、再生して目的の結論がどうであるか見る機構です。動画には意志の力（他の思考システムの働きも）によって変形が成されることもできることが重要です。この変形ができるために一定間隔の再生速度が設定されるのです。

(3) パターンマッチングによるプロダクションシステム型の推論

サイバー空間とか知識ベースのごく部分的な構造とマッチングする入力データに添付している（プロダクションシステムを構成する）コマンドを実行して結果から推論します。

(4) コマンドの実行

コマンドは、サイバー空間に接地しています。そのサイバー空間でコマンドに連想している部分が実行（動画イメージになっています）します。つまり、シミュレーションが実行されます。

【行動制御システム】

行動制御システムは次の機構から構成されます。

- ・ 身体の間隔配置（姿勢）管理
- ・ ZMP 間隔配置管理
- ・ シナリオ（運動制御データ）の獲得と利用
- ・ 反射系の組み込み

姿勢データはサイバースペースに展開し、シナリオは知識ベースに展開する。

（1） 身体の間隔配置（姿勢）管理

頭、手、足、胴体、といった身体の間隔を姿勢として保持することをサイバースペース内で行います。色々な視点からの間隔が保持されます。

（2） ZMP 間隔配置管理

重力の影響の管理は ZMP を推定していくことで行います。行動制御のシナリオで、姿勢の他に ZMP の間隔配置も制御項目として利用していきます。

ZMP は重力が身体の間隔への接地点として学習して獲得します。その時、姿勢と間隔との関係をディープラーニングで推論できるようにしておきます。

（3） シナリオ（運動制御データ）の獲得と利用

意志とセンサー値とアクチュエータ値と身体の間隔から次の姿勢へと遷移するためのアクチュエータ値を生成するステートマシンを構成します。

外乱に対応する行動もシナリオが形成されて利用されます。

（4） 反射系の組み込み

反射系は、プログラムの関数のようなものです。入力値群とその影響を出力値へと変換します。出力値は、センサー値と同等な働きをします。

3.基盤的処理概略

(1) 領野データ分散管理

空間はいくつかのサブ領野のセットに覆われて存在します。オントロジーによる領野分解とか、データ種類による領野分割です。その複数の領野に渡ってコンセプトが分散するのは名前によって統一性を管理します。すなわち、同じ名前のコンセプトは領野は違っていても同じコンセプトを表わすものとしします。これによって、領野ごとに適切なデータを確保しつつ、様々な処理に必要な都度、適切にデータにアクセスできるようになります。

(2) 発火システム

サイバー空間も知識ベースもノードというコンセプト(事象)のネットワークで構築されています。汎用人工知能の処理は、このノードを発火させて、発火したノードが活性化(処理が付属していたらその処理を行う)させるということで、実現します。発火連鎖は常に評価されていて、有効な発火であれば(メリットがあるとか緊急対処の必要があるとか)発火を連鎖しますが、意味ない発火であれば停止します。

(3) 自律行為発現の仕組み

発火したらそれに連想するコマンドを実行するというのを自動で行い、その処理の推移を管理するというのが必要です。その機構は `MpDataFlowComputingSystem` モジュールが行います(「モジュール構成書」参照)。

自律的行為発現の中心は、目標管理思考と行動制御で、システムで多くの発火があるコマンドの中で、選択的に1つだけが実行されます。それは、評価システムによる選択(意志の配下で選択されますが、その根拠は評価システムの中の評価の強度とか優先度の問題として扱われるものです)で行われます。

(4) サーバー空間内のコマンドの実行

コマンドは基本的に領野に閉じたものです。同じコマンドでも領野が違えば異なる操作をします。行動を発現するコマンドは、行動制御領野で意味をもち、サイバー空間にデータを付加するならば、サイバー空間ように造ったコマンドを発行する必要があります。サーバー空間構築ようなコマンドというものがあるように、知識ベースを操作するコマンドもあります。それぞれ領野固有の意味をもつコマンド群から構成されます。

(5) サイバー空間と知識ベースのやりとり

サイバー空間は空間配置を主に管理します。だからイメージが主体のデータエリアです。一方、知識ベースは記号を主体とするデータエリアであり、コマンドとかプロダクションシステムを保存します。このコマンドのイメージはサイバー空間に保存されます。

(6) 言語獲得と知識表出

言語獲得は、意志システムの記号生成システムからの出力である、記号（コマンド）と言語である記号との共起を推定していくことで実現します。従って、基本的に強化学習とクラスタリングと交差法を合体した学習法で造られる能力です。その出力は、ステートマシン（グラフ）になります。ATN が最終出力の文法になります。また、文章の生成パターンもどのようにシナリオ（グラフ）として獲得されるものです。

サイバー空間と知識ベースにフォーカスをあて、シナリオと ATN を参照して言語は表出されます。フォーカスはシナリオに則って、知識ベースを移動します。それによって正確な文章を構成していきます。

(6) 思考と行動

思考も行動もシナリオ（ステートマシン）が中心技術です。思考の処理要素と行動の行動要素とかはチャンクとして起動したら必ず終わりまで実行が自律的に行われる物とします。そうして、そのようなチャンクは次のチャンクへと遷移するための制御データ群が与えられ、次々に思考や行動が完結していきます。シナリオは遷移を表現するグラフネットワークで、学習によって獲得していくものです。

チャンクの出力はアクション（行為）です。遷移の制御データは、次のものがあります。

- ・評価（目的に合致しているか、メリットがあるか、デメリットが減少するか）
- ・外乱への対応コマンド
- ・意志によるコマンド ((key,value)セットにブレークダウンしておく)

ここで、評価ですが、行動結果の確認とか、センサーデータ値の評価結果とか、思考・行動のこの先の予測と意志との乖離評価とかです。

行動ですと姿勢と外界の空間の関係とか、ZMP の位置と外界の空間の関係ということが重要なファクターになりますから、サイバー空間との関係が密になります。思考も、イメージ世界が重要ですから、その中の今の位置づけというものと目標との関係をサイバー空間に持ちます。

4. 全体の処理の流れ

センサーからの作用で、データ構造解析空間のノードが発火します。そうして、解析が行われ、その結果がノードとして発火します。

一方で、意志空間から、今何を実行するかコマンドノード群が発火します。意志はフォーカスを制御して、全体の処理の方向性を明確な物とします。このフォーカスによってサイバー空間と知識ベースのフォーカスが当たったノードが発火します。この発火ノードは、目的に対して、生活に対して有効な発火（コマンドの実行）かを定時・逐次評価する必要があります。全てのノードの発火はシミュレーションを実行し、その結果を評価していくことになります。この評価システムの中核には調停場空間があって、錯綜する複数の行動を取捨選択して一つにしていくことも行います。

この発火するコマンドが思考領野へ発行されると思考が実行され、行動領野へ発行すると行動が実現します。

サイバー空間と知識ベースは如何に獲得されていくかという問題があります。全ては、事象やオブジェクトは枠と部品群というデータ構造を持つことを認識してプログラムを組むことにあります。そうして、それら事象やオブジェクトの群れは、共起ということで、様々な情報を発現するということの認識であります。それらの事象の解析は、「データ構造解析」空間と「エピソード空間」の学習と解析能力によって実現していきます。そうして、サイバー空間や知識ベースのノードのネットワークと部分マッチングする事象やオブジェクトに「エピソード空間」の内容は写されていき、データの獲得作業がなされます。

5. おわりに

第五世代コンピュータは言葉による命令で、コンピュータを自在に操作できるようにする物と言います。RPA (Robot Process Automation) に言語能力を付加するとそんなコンピュータができそうです。

言語能力は言葉をコマンドに落とし、RPA にそのコマンドを発行することで実運用に利用できる物になります。このことを実現するのが、サイバー空間と知識ベースであります。サイバー空間は、RPA が対象とするフィジカル空間 (事務データ空間) をイメージとして取り込み、ボタンとかスクロールとか、データ項目とかの検索とかをコマンドで操作できるように連想関係のネットワークを作ります。コマンドの実際の RPA の操作命令に対応付ける作業も行います。

このように、サイバー空間と知識ベースを基本に人工知能を構築すると、見通しよい開発が実現できることが分かります。

ここで提示した機能を実現するモジュールについては、「モジュール構成書」を参照下さい。

おわり