

# 群知能を適用したアクセス制御システム

木下研究室 久保 直也 (工学研究科 電気電子情報工学専攻 201070081)

## あらまし

本稿の目的は、情報創発の支援とともに、その「行為を守る」システムを提示することである。そのためにアクセス制御を「言語ゲーム」と見做す。そして、群れの概念と遺伝の概念によって変動する環境に適応する群知能を提案する。群知能の構成要素「エージェント」はアクセス行列の中で定義される行為の連鎖 (Path channel) である。Path channel オブジェクトが群れを作るとき、「似ている行為」という概念、即ち「家族的類似」という概念を導入する。提示するマルチエージェントシステムにより、自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムの可能性が期待される。

## 1 はじめに

我々は、“変動的秩序”の中に公私の価値の循環を実現するクラウドシステムの考察の中で、“アクセス行列要素”の連鎖の振舞いに着目し、概念的研究、実用研究を行ってきた [4][5]。本稿では、“アクセス行列要素の連鎖”をひとまとまりとし、それを群知能の一員 particle と見做すシステムの実用的なシステムの可能性を考察する。

一連の研究に当たり、その問題意識は以下の通りである。インターネットのアドレス解決はドメインネームシステムである。そして現在、IP アドレスに対応したコンピュータリソースの“名前”が、仮想的なシステムの中に分離する“クラウド”へと変貌している。しかしその変化は、システム、サービス、ネットワークアーキテクチャからの要請のみに基づいている。しかしこの変化が更に進むとき、クラウドの情報セキュリティが、人々の社会的な活動を護る半面、それがかえって人の創発活動を硬直化させる問題が益々増加することになることが懸念される。なぜなら、リソースの“名前”を指示しアクセスするという振舞いは、クラウドに限ったことではなく、極めて日常的な言語世界の現象だからである。即ちクラウドは、社会の日常的な言語的システムそのものになってゆくだろう。インターネットをインフラとする現代社会にとって、創発活動の硬直化は社会の中の競争原理を阻む原因となる。したがってクラウドの理念とビジョンをあらためて考え、それを具体化しよう、ということである。

そこで本稿では“アクセス行列要素の連鎖”という行為の particle が群れるとき、その振舞いの記述に着目する。その上でウィトゲンシュタインの言語ゲームに着目し、“アクセス行列要素の連鎖”の振舞いに言語ゲーム的な振舞いを持たせることを試みる。アクセス行列の中で規定される行為の

particle を群れとする群知能の“集まる力”の源としては言語ゲームにおける類別の概念、“家族的類似”の適用を試みる。また、遺伝の概念によって変動するアクセス行列の環境に適応する群知能についても考察する。群知能の構成要素「エージェント」はアクセス行列の中で定義される行為の連鎖 (Path channel) である。そして、群れの中で Path channel が自律分散的に相互作用し群れが制御される。アクセス制御で問題となる Covert channel は Path channel オブジェクトの一部であると解釈する。Path channel オブジェクトが群れを作るとき、「互いに少しずつ似ている振舞い」という概念、即ち「家族的類似」という概念によって集まる。本稿では、「家族的類似」を Tanimoto 係数によって実現することを試みる。Tanimoto 係数は 2 つの集合の差異の指標である。提示するマルチエージェントシステムにより、自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムの可能性が期待される。

本稿の章構成を説明する。2 章では振舞いを護るシステムについて述べる。3 章では家族的類似に基づく Particle の振舞い、4 章では家族的類似に基づく群れの振舞いについて述べる。

## 2 振舞いを護るシステム

### 2.1 諸定義

#### 【アクセス行列】

Subject, Object, Permission からなるアクセストリプルの集合をアクセス行列とする。

Subject: 人の名前

Object: 情報リソースの名前

Permission: Subject が Object を Read, Write する権限とする。ここで R は Read 権限, W は Write 権限, RW は R W 権限, は R W 権限, 空欄は権限が不確定を意味する。

#### 【Path channel】

アクセス行列内の Capability の連鎖を Path channel と呼ぶ。Path channel は自己と他者の行為の連鎖を表す。

#### 【Path channel 表記の定義】

PathC(i) を Path channel の名前とする。アクセス行列上での、PathC(i) の行為を、

PathM(i) = { ISil, IOil } と表す。

SubjectSi(i=1,2,...), Sj(j=1,2,...), 但し i j

ObjectOn(n=1,2,...), Sm(m=1,2,...), 但し n m

PermisionPR,W,RW, RW とするとき、

If(Si,On,R) (Si,Om,W) (Sj,Om,R)

ThenPathM(i){ Si,Sj,On,Om }

と定義される。

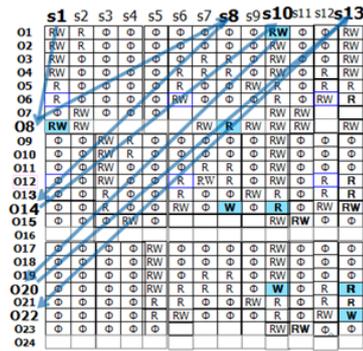


図 1: アクセス行列と Path channel

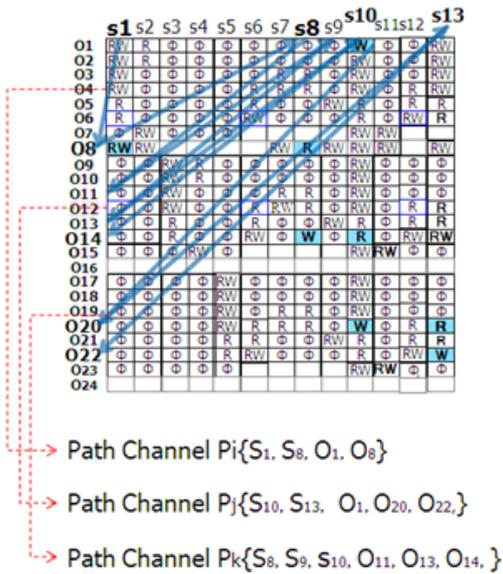


図 2: 群知能の Particle

図 1 の矢印はアクセス行列上の行為の連鎖を表している。その行為の連鎖を Path channel として表す。

【Covert channel】

アクセス行列において、アクセス禁止の Permission に矛盾する情報フローを Covert channel と呼ぶ。

【Covert channel の定義】

Subject  $S_i (i=1.2....)$ ,  $S_j (i=1.2....)$ , 但し  $i \neq j$   
 Object  $O_n (n=1.2....)$ ,  $O_m (m=1.2....)$ , 但し  $n \neq m$   
 Permission  $P \{R, W, RW, \quad RW\}$   
 アクセストリプル  $(S_i, O_n, P)$  とするとき、  
 $If (S_i, O_n, R),$   
 $AND If (S_j, O_n, R) \quad (S_j, O_m, W) \quad (S_i, O_m, R),$   
 $Then \quad Covertchannel(S_i, S_j, O_m(O_m)).$   
 と定義する。

Covert channel はアクセス行列の行為の連鎖の中にある。つまり、Path channel の部分集合である。

## 2.2 群知能の言語ゲーム的振舞い

【アクセス行列の中の言語ゲーム】

アクセス行列上に表現される行為の連鎖である Path channel を、群知能の Particle とする。図 2 でアクセス行列と Path channel の関係を表す。

【群知能】

群知能 [1][2] は単純なエージェントの個体群から構成される。個々のエージェントには単純なルールが与えられ、

そのようなエージェント間の局所相互作用により、個々のエージェントが全体としてどう動くべきか制御しているわけではないにもかかわらず、全体として複雑な群れ行動が創発される。この群れとしての知能を群知能と呼ぶ。

Path channel の群れる力には、自分の近傍に向かう力と群れの目標に向かう力がある。一つ一つの Particle に群れる力が働くことによって、全体として群れが作られる。

【変動的秩序】

Path channel や群れは常に変動している。変動している Path channel 同士が群れを作る時、Covert channel が発生する可能性がある。Covert channel を制御し、Covert channel を無くすことも大切ではあるが、類似したもの同士群れ、情報を共有したいといった欲求もある。そこで、やみくもに Covert channel を制御するのではなく、Covert channel を一定に保ち、かつ似たもの同士で群れるということが必要になる。Covert channel を許容できる場合は群れを保ち、許容できない Path channel に対しては群れから引き離れる力が働く。

## 3 家族的類似に基づく particle の振舞い

### 3.1 一つの Particle の振舞い

一つ一つの Particle はそれぞれの視点、規則を持ち、自律分散的に動いている。一つ一つの Particle はそれぞれ Alignment, Cohesion, Separation から群れる力を求める。

【Alignment】

Alignment は近傍の Particle と群れようとする力のこととする。

(1) 一つ一つの Particle が、任意の半径を Neighbor として定める。

(2) Neighbor の Path channel の要素とアクセス行列を得る。

(3) Neighbor 内のそれぞれの Particle に対して、群れる正の力、群れる負の力の計算を行いベクトルを求める。

(4) Neighbor 内のそれぞれの Particle に対しての群れる力のベクトルを足し合わせたものが Alignment である。

【Cohesion】

Cohesion は群れの Particle と群れようとする力のこととする。

(1) 一つ一つの Particle が、任意の半径を Group として定める。

(2) Group の Path channel の要素とアクセス行列を得る。

(3) Group 内のそれぞれの Particle に対して、群れる正の力、群れる負の力の計算を行いベクトルを求める。

(4) Group 内のそれぞれの Particle に対しての群れる力のベクトルを足し合わせたものに、Group 内の Particle に対する係数をかけたものが Cohesion である。

【Separation】

Separation は群れる負の力のこととする。

(1) 一つ一つの Particle が任意のしきい値を定める。

(2) しきい値をもとに、群れる正のちからが働くか、群れる負の力が働くかがきまる。

### 3.2 Tanimoto 係数による家族的類似の出現

本稿では、群れる力を家族的類似によって表す。家族的類似とは、行為の類似である。行為の連鎖である Path channel の類似度を求めることで、家族的類似を求める。「家族的類似」は同値という概念とは異なり、アクセス制御のシステムを「言語ゲーム」と見做す時必要になる概念である。家族的類似を Tanimoto 係数 [3] によって求める。

【Tanimoto 係数】

PathC(i) と PathC(j) の Tanimoto 係数を  $T_{ij}$  とする。 $PathM(i) = \{|Si|, |Oi|\}$ ,  $PathM(j) = \{|Sj|, |Oj|\}$  とし、PathM(i) と PathM(j) の要素の数をそれぞれ  $|pathM(i)|$ ,  $|pathM(j)|$  と表し、(1) 式で Tanimoto 係数を求める。

$T_{ij} =$

$$\frac{(|pathM(i) \cap pathM(j)|)}{(|pathM(i)| + |pathM(j)| - |pathM(i) \cap pathM(j)|)}$$

(1)

Tanimoto 係数は 0.0~1.0 の間の値をとり、1.0 に近いほど要素が類似しているといえる。アクセスの軌跡、行動が近い Path channel 程、Tanimoto 係数の値が大きくなり、家族的に類似していると言える。

### 3.3 Pheromone

Pheromone は群れる力の一部である。Pheromone が濃ければ濃いほど群れる正の力が働く。ここで用いる Pheromone は、ACO で使われるような Particle の通った経路に Pheromone を落とすといった使い方をするわけではない。Path channel に対するアクセスに応じて Pheromone を加え、時間によって揮発するといった使い方をする。PathC(i) の Pheromone を phero(i) とする。PathC(i) にアクセスした回数を N, PathC(i) に対する一回のアクセスで加える Pheromone の量を p, 時間あたりに蒸発する phero(i) の割合を fe とし、phero(i)(t) を (2) 式によって求める。

$$phero(i)(t) = (pN(t-1) + phero(i)(t-1)) \cdot fe \quad (2)$$

### 3.4 Covert channel 容量

Covert channel を制御することは大切であるが、Covert channel の制御は、創発活動の邪魔をしてしまう可能性がある。自己の行為に近い群れが、群れ全体として創発活動を支援し、かつ情報漏洩を一定量に維持調和させる新たなシステムのために、Covert channel 容量の計算を行う。

PathC(i) から PathC(j) への Covert channel 容量を  $C_{ij}$  とする。

PathC(i) が把握する PathC(j) を含むアクセス行列を  $A_{ij}$  とする。

$A_{ij}$  中の PathC(i) から PathC(j) への全ての Channel 数を  $N_{ij}$  とする。

$A_{ij}$  中の PathC(i) から PathC(j) への全ての Covert channel 数を  $ij$  とすると、PathC(i) から PathC(j) への Covert channel 容量  $C_{ij}$  を (3) 式で求める。

$$C_{ij} = \frac{ij \log \frac{ij}{N_{ij}}}{N_{ij}} \quad (3)$$

### 3.5 Path channel オブジェクトの振舞い

家族的類似と Pheromone と Covert channel 容量から、Path channel オブジェクトの群れる力を求める。家族的類似、Pheromone、Covert channel 容量に対して各自が係数を調整する。群れる正の力だけでなく負の力も考慮するために各自がしきい値を定める。しきい値を定めることで、行為の似ていない Path channel や Covert channel 発生の確率の高い Path channel から遠ざかる、群れる負の力を表現する。

PathC(i) の、 $T_{ij}$  に対するしきい値を  $T_{it}$  とする。

PathC(i) の  $C_{ij}$  に対するしきい値を  $C_{it}$  とする。

PathC(i) の PathC(j) に群れる力を  $f_{ij}$  とすると、 $f_{ij}$  を (4) 式によって求める。

$$||fa_{ij}|| =$$

$$C_{1i} \cdot (T_{ij} - T_{it}) + C_{2i} \cdot phero(j) + C_{3i} \cdot (C_{ij} - C_{it}) \quad (4)$$

$C_{1i}$ ,  $C_{2i}$ ,  $C_{3i}$  は各自が定める  $T_{ij}$ ,  $phero(i)$ ,  $C_{ij}$  にかかる係数である。

PathC(i) の座標を  $(PathC(i)_{(x)}, PathC(i)_{(y)})$  とし、PathC(j) の座標を  $(PathC(j)_{(x)}, PathC(j)_{(y)})$  とする。

PathC(i) から PathC(j) の方向ベクトル  $PathC(ij)(PathC(ij)_{(x)}, PathC(ij)_{(y)})$  を、

$$PathC(ij)_{(x)} = PathC(j)_{(x)} - PathC(i)_{(x)}$$

$$PathC(ij)_{(y)} = PathC(j)_{(y)} - PathC(i)_{(y)}$$

とし、次に PathC(ij) の長さを求める。

$$l = \sqrt{PathC(ij)_{(x)}^2 + PathC(ij)_{(y)}^2}$$

また、X 軸、Y 軸に働く力を  $f_{ij}(x)$ ,  $f_{ij}(y)$  とし、 $f_{ij}(x)$  と  $f_{ij}(y)$  を (5), (6) 式で求める。

$$fa_{ij(x)} = ||fa_{ij}|| \frac{PathC(ij)_{(x)}}{l} \quad (5)$$

$$fa_{ij(y)} = ||fa_{ij}|| \frac{PathC(ij)_{(y)}}{l} \quad (6)$$

Neighbor, Group 内のすべてのベクトルに対し、同様の計算を行い、ベクトルの総和をとることで、Alignment と Cohesion のベクトルを求める。PathC(i) の Neighbor 内の全てのベクトルの数を n とし、Neighbor 内の全てのベクトルの総和を  $Ali$  とすると、 $Ali$  を (7) 式から求める。

$$Ali = \sum_{k=1}^n fa_{ik} \quad (7)$$

PathC(i) の Group 内の全てのベクトルの数を g とし、Group 内のすべてのベクトルの総和を  $Coh$  とすると、 $Coh$  を (8) 式から求める。但し G は係数である。

$$Coh = G \sum_{k=1}^n fa_{ik} \quad (8)$$

PathC(i) の群れる力を  $F_i$  を求める。

$$F_i = Ali + Coh \quad (9)$$

群れる力  $F_i$  を求める計算は時間 t から毎行われる。群れる力を求める計算の結果から各 Particle の次の速度ベクトルを (10) 式から求める。

$$V_i(t) = V_i(t-1) + F_i(t-1)\Delta t \quad (10)$$

但し  $V_i(0) = 0$  とする。図 3 は一つの Particle の動きを図にしたものである。

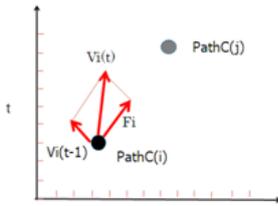


図 3: 一つの Particle の群れる力

## 4 家族的類似に基づく群れの振舞い

### 4.1 群れの規則

一つ一つの Particle が群れを作る時、群れの規則が存在する。

群れの規則：

- (1) n 次元の群れを作る。
- (2) いつまでも群れを維持する。

群れを維持するためのパラメータは各自が設定することで発見する。

- (3) 衝突状態で反発力が働く

Particle が重なってしまうと、Particle の群れを観察することができない。反発力を働かせることで観察を可能にする。衝突した Path channel を PathC(i) と PathC(j) する。

PathC(i) のベクトルを  $V_i(t)$ ，衝突の際の係数を  $Co_i$ ，PathC(j) のベクトルをと  $V_j(t)$ ，衝突の際の係数を  $Co_j$  とし，PathC(i) と PathC(j) が衝突状態が起こると，それぞれ (11)，(12) 式の反発力が働く。

$$V_i(t) = V_i(t-1) - Co_i V_i(t-1) \quad (11)$$

$$V_j(t) = V_j(t-1) - Co_j V_j(t-1) \quad (12)$$

- (4) 群れる正の力で集まり，群れる負の力で離される

群れる正の力で集まることで，Path channel が類似している，つまりアクセスの軌跡の類似したものが集まることになる。また群れる負の力で離すことで，Path channel が類似していても許容できない Covert channel 容量の Path channel を群れから追い出すことになる。群れの規則の目的は，群れを観ることである。つまり観るための規則である。群れを観察するために，どこにどんな Particle がいるか知ることが前提である。各 Particle の群れとは，距離が近い状態の Particle の集まりである。パラメータとして，各自が Alignment 半径と Group 半径を決め，観察によってパラメータを調整する。

### 4.2 群れの振舞い

一つ一つの Particle が群れを作る時，群れがどのように振舞うか次に示す。

(1) 各 Particle の集まりに対しても同様に，3.5 節で行われた計算を行う。

(2) 全ての Particle のベクトルは計算結果に従い決定される。

- (3) Particle は計算結果に従い座標上を動く。

- (4) 座標上に Particle の群れが出来上がる。

(5) 行為の似た者同士の群れとして機能しているか，必要以上に Covert channel が発生していないか等の群知能の調和は，群知能のパラメータによる。観察することでパラメータを調整し，群れの調和を目指す。

## 4.3 群れの進化

Path channel や群れは常に変動し進化する。Path channel や群れは下記に示す (1)，(2)，(3) により進化する。

(1) Path channel 同士の交叉：他の Path channel の要素を加えること。

(2) Path channel の突然変異：要素を新たに加えること。要素を削除を行うこと。

(3) Path channel の淘汰：Path channel を群れから追い出すこと。

観察を行うことで Path channel の変化に対応できるパラメータを調整し，許容できる Covert channel 量の群れを維持する。

## 5 まとめ

アクセス行列の中の振舞いを Path channel で表現し，この振舞いを群れの構成要因とする。群れる力を家族的類似，Pheromone に求めることで，アクセス行列の中の振舞いが似ている Path channel 同士で群れることを可能にした。家族的類似度は集合の差異を評価する Tanimoto 係数によって求めた。Covert channel の計算を行い，Covert channel 容量の計算を行うことで，全ての covert channel を切断するのではなく，Covert channel の容量を定義して，その容量を一定に保つシステムを提示した。また，Tanimoto 係数，Pheromone，Covert channel 容量にしきい値を与えることで，家族的に類似していない，アクセスの少ない，Covert channel の発生確率が高い，といった Path channel は群れから離れるシステムを提示した。

以上により，自己の振舞いに類似する群れが創発活動を支援し，かつ情報漏洩を一定量に維持し，そのことを以て調和を形成する新たなシステムの可能性を示した。今後マルチエージェントシミュレータ (MASON) により，群知能パラメータを求めるシステムを実装する。

### 参考文献

- [1] Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", ACM-0-89791-227-6/87/007/0025, ACM, (1987)
- [2] Yen-Wei Chen<sup>1</sup>, Kanami Kobayashi, Hitoshi Kawabayashi, and Xinyin Huang, "Application of Interactive Genetic Algorithms to Boid Model Based Artificial Fish Schools", Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems Lecture Notes in Computer Science, 2008, Volume 5178/2008, pp.141-148, (2008)
- [3] Toby Seqaran, 當山仁健, 鴨澤眞夫, 「集合知プログラミング」, オライリー・ジャパン, 2008
- [4] 森住哲也, 久保直也, 鈴木一弘, 木下宏揚, "クラウドの変動的秩序概念について- コミュニティ・プロビジョニングの提案", 電子情報通信学会, 技術と社会・倫理研究会, pp. 13-18, 10月, (2010).
- [5] 久保直也, 森住哲也, 鈴木一弘, 木下宏揚, "変動する秩序の中でパーソナリティを区別するマルチエージェントシステム", 1F1-1, 2011年暗号と情報セキュリティシンポジウム SCIS2011, (2011)