

2011年度 卒業論文

正常円網の特徴を考慮した
クモの巣形状の自動生成に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0108135

喜禎 東賢

2011年度 卒業論文概要

論文題目

正常円網の特徴を考慮した
クモの巣形状の自動生成に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0108135

氏名

喜禎 東賢

指導
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

3DCG, 正常円網, 自動生成, モデリング

近年、映像作品やゲームなど様々な場面で3DCGが多く用いられるようになった。それらの作品の中には、所々にクモの巣形状が景観の構成に関わっているものがある。景観の表現においてクモの巣形状というものの多くは、古びたものや未踏の地、クリーチャーを表現する際に利用する。しかし、クモの巣形状の作成というのは問題点があり、1から作ると時間がかかることが考える。クモの巣形状の自動生成に関する既存研究では、不規則網と呼ばれる形状の自動生成は可能であるが、他の形状の生成はできない。

本研究では、クモの巣形状の中でも正常円網と種類の網に着目し、これを効率的に自動生成できる手法を提案する。正常円網とは、垂直に張られるタイプのクモの巣であり、網自体に特殊な仕掛けは無く、綺麗な円の形をしている。正常円網のクモの巣形状を再現するにあたり、うずまき形状に巻いた横糸の量、位置を考慮する必要がある。現実のクモが作るクモの巣はそれぞれ形状もまばらであるため、形状を生成するにあたりそのばらつきも表現することを考慮した。本手法で生成したクモの巣形状と実際にクモが作ったクモの巣の形状を比較し、その特徴を表現できた。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第2章	クモの巣形状について	4
2.1	正常円網の特徴	4
2.2	クモが正常円網を作る過程	5
2.3	クモの糸の膨潤	5
第3章	自動生成手法の提案	9
3.1	クモの巣形状の自動生成の手法	9
3.2	重心と枠糸	10
3.3	縦糸	12
3.4	収縮率	13
3.5	横糸	15
第4章	結果と評価	17
4.1	実行結果	17
4.2	考察	20
第5章	まとめ	23
	謝辞	24
	参考文献	25

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、3次元コンピューターグラフィックス (3DCG) の分野では、景観の生成に3次元形状モデル (3D モデル) を利用している。複雑な 3D モデルの生成も、効率を上げるために自動生成の研究も進んでいる [1][2][3][4]。最近になって注目されるようになってきたものの中に、クモの巣形状の自動生成がある。数多くのクモの巣形状の中から、本研究では正常円網という種類の網に注目した [5]。正常円網とは、粘着性のある横糸がうずまき形状に巻いているクモの巣形状である。一般的に見ることが多いクモの巣の形状であり、屋内に生息するオニグモ科のクモが張っているのを見かける例も多い。しかし、この正常円網の 3D モデルの生成には手間を要する。

既存のクモの巣形状を自動的に生成する研究として、Lee ら [6] が発表した手法では、ユーザが 3D モデルから数点を選択し、それを基点にクモの巣形状を自動的に生成する手法を提案した。ほこりや水滴の付着によるフラクタル構造を意識したテクスチャーの提案や、クロスシミュレーションを適応した弛みの表現も特徴的である。図 1.1 は、テーブルに対し、Fangwei らの手法でクモの巣形状を生成したものである。幕のように弛んでいるクモの巣形状を生成している。

Chamon[7] が作った Softimage 用の ICE コンパウンドでは、ユーザが一定の領域を選択し、そこに対して不規則なパターンでのクモの巣形状を生成する。図 1.2



図 1.1: Lee らの手法によるテーブルに付着するクモの巣形状

では、蜀台に対し Fabricio のクモの巣形状を生成したものである。こちらも弛みの表現が出来ており、より直感的にクモの巣形状を生成することが可能である。



図 1.2: Chamon の手法による蜀台に付着するクモの巣

上記の 2 つの手法で自動生成可能なクモの巣の形状は、不規則網という種類の網のみである。不規則網とは、名の通り不規則な方向に糸が張られ、飛んできた獲物の虫を捕らえる網である。不規則網のクモの巣形状を利用する場所として、廃墟やダンジョンなど、人気が少ない景観の表現が多い。しかし、既存の手法では不規則網しか自動生成できないため、利用できる場面に限りがある。

そこで本研究では、正常円網のクモの巣形状を効率的に自動生成できる手法を提案する。実際の正常円網にも糸の張り具合に誤差があるため、完全な等間隔の螺旋ではない。よって、多少の間隔のばらつきも考慮するものとする [8][9]。次に、クモの糸の膨潤する性質についての検証も行った。クモの糸が膨潤することによって、収縮率がどのように変化するかを生成する際に考慮に入れた。膨潤について

は、本研究では湿度など外部からクモの巣形状に対して与える水分量を取り扱うのではなく、糸自体の収縮する割合を対象とする。また、正常円網は平面的である。更には、巣としての形状を保つためには最低限3点の支え(以下、「基点」とする)が必要である。そのため、最小3つの基点を基に、平面的であるクモの巣形状の自動生成を行った。クモの巣形状は、それぞれの基点の結ぶ線が交差しないものであり、また一定の間隔をあけている必要があることも考慮に入れた。配置された基点からクモの巣形状を生成し、それに対して収縮率の値を考慮し、自然な弛みを表現した。

本研究の評価は、パラメータの変化によって生成したクモの巣形状の比較、及び現実の正常円網との比較によって特徴の一致が見られるかの検証によって行われる。この結果、様々なパターンの正常円網の形状を生成し、入力値に適応した形のクモの巣の生成が可能となった。

1.2 論文構成

本論文では第2章でクモの巣形状の説明を行う。第3章にて本研究における手法を提案し、第4章では第3章で述べた手法の検証、評価を行う。第5章にて本研究のまとめを記す。

第 2 章

クモの巣形状について

本章では、クモの巣形状についての特徴や本研究で取り扱う正常円網の作られる過程を説明する。2.1 節では、本研究で自動生成の対象としている正常円網の特徴について説明する。2.2 節では、クモが正常円網を作る過程と、糸の種類について説明をする。2.3 節では、クモの糸が水分を吸収し膨潤した際の影響について説明する。

2.1 正常円網の特徴

円網は、主にコガネグモ科・オニグモ科・アシナガグモ科のクモが張り、多く種類が存在している種類の網である。都会でも見かけることの多い形状である [10][11]。正常円網とは、円網の種類の中でも、切れ目や付着物の無い、綺麗に円状になっている網を指す。ただし、獲物の捕獲や、天候等による巣の破壊で出来た切れ目は、形状の判別の基準にはならない。正常円網は垂直に張られるのも特徴の一つである。図 2.1 は正常円網の写真となっている。図 2.2 は円網の模式図である。横糸がうずまき形状に張られているのも特徴的である。更には、外周の糸(枠糸)が巣の中心に向かってへこむ形をしている [12]。



図 2.1: 正常円網



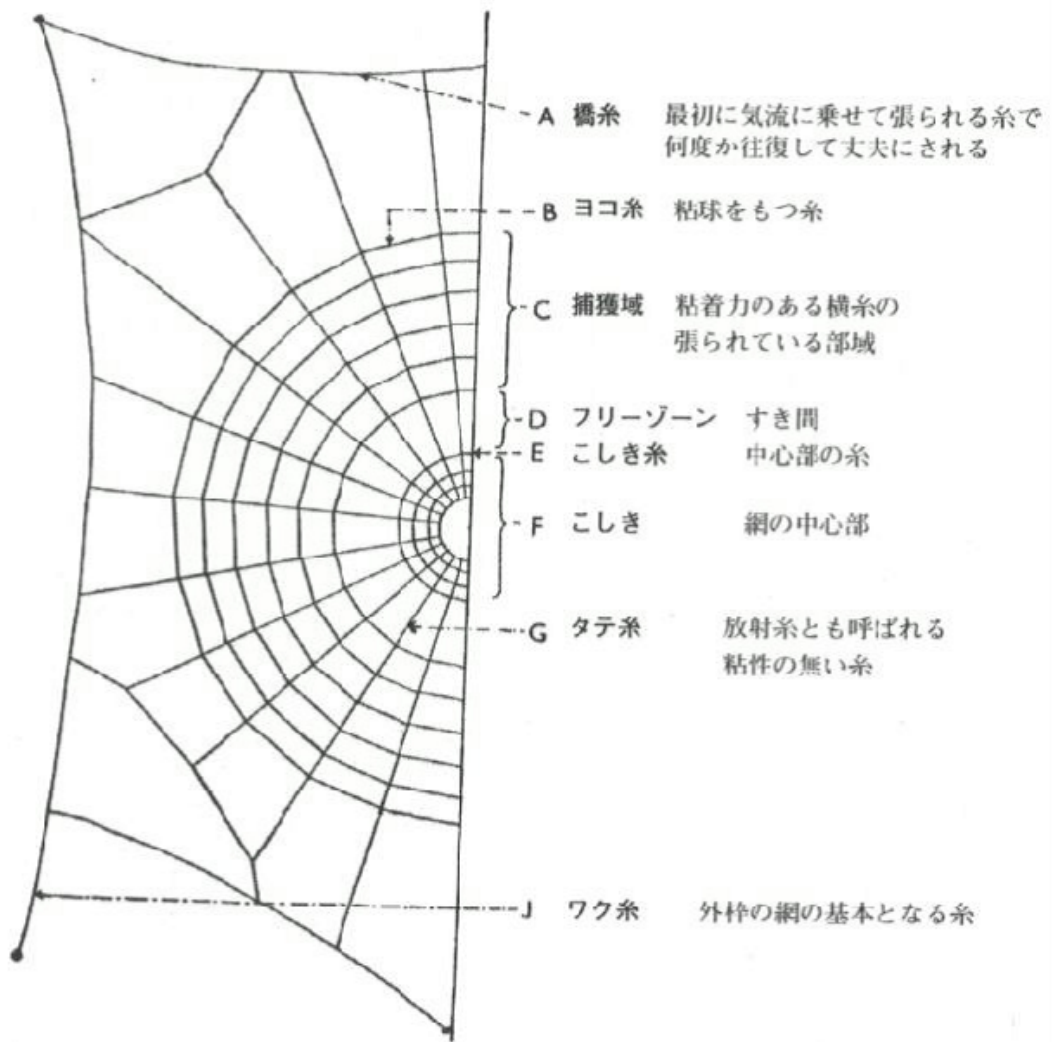
図 2.2: 円網の模式図

2.2 クモが正常円網を作る過程

クモの巣は最小で3つの点を基にして構成している。橋糸と呼ばれる糸を基に、外枠となる枠糸、足場と重さ分散のための粘着力の無い縦糸、横糸を張るための足場糸、巣の中心であるこしきを補強するこしき糸、粘着力のある横糸、最後に再びこしき糸の順に張る。図 2.3[13] は各糸を図解したものである。図 2.4[13] は各糸を張る手順を表している図である。ただ、枠糸と縦糸の作業はほとんど同時進行であるため、この順の限りではない。

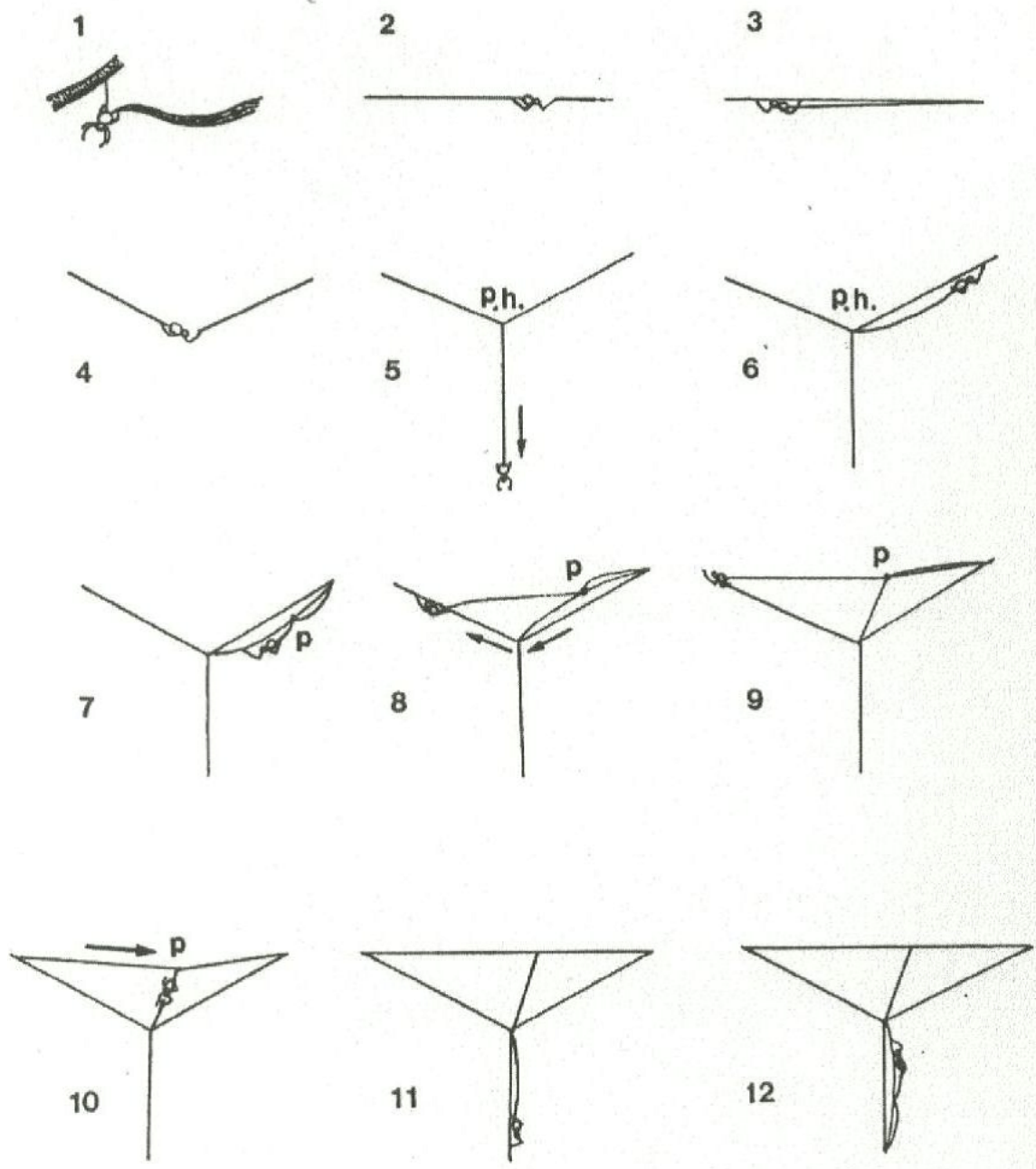
2.3 クモの糸の膨潤

クモの糸は水分が溶媒 (主に水) を吸収すると、膨潤する性質を持っている。膨潤とは、媒体に対して溶媒が浸入することにより、体積が膨張する現象である。クモの糸は膨潤すると、体積は2倍になり、長さが半分に収縮し、弾性は1000倍に増大するという特性を持っている [14][15]。本研究では、糸の体積変化について考慮しないものとするため、膨潤率で体積を求めるものではなく、収縮率で長さを求めるものとする。



(T. H. Savory の「The Spider's Web」をもとに一部改変して引用)

図 2.3: 円網の図解



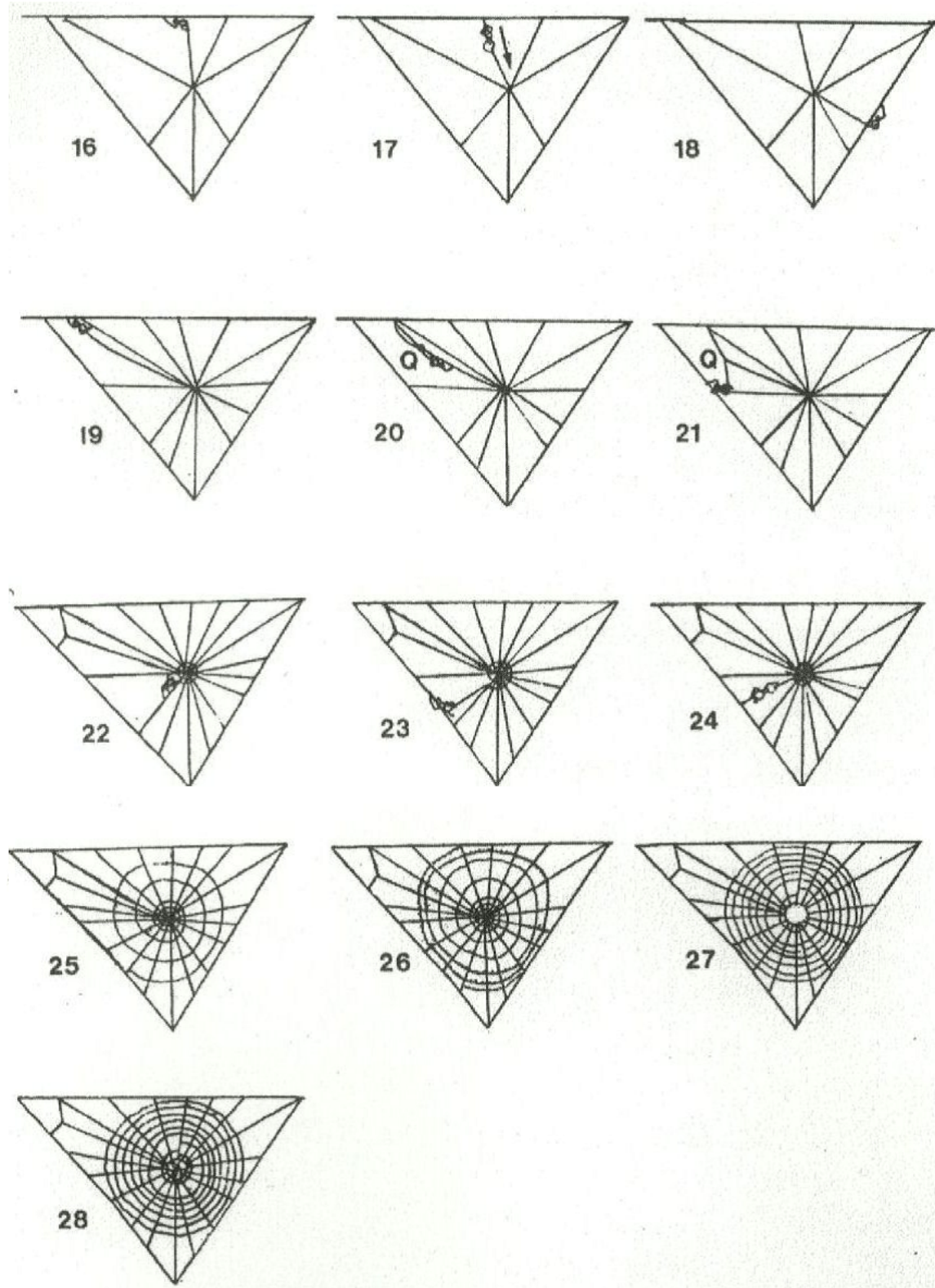


図 2.4: 円網の生成手順

第 3 章

自動生成手法の提案

本章では、正常円網のクモの巣形状の 3D 形状モデルの自動生成のための、具体的な実装手法を説明する。3.1 節では、クモの巣形状の自動生成の手法について説明する。3.2 節では重心と枠糸の位置を、3.3 節では縦糸の位置を、3.4 節では収縮された枠糸と縦糸の位置を、3.5 節では横糸の位置の求め方を説明する。

3.1 クモの巣形状の自動生成の手法

本研究では、正常円網のクモの巣形状の 3D 形状モデルを自動生成の対象とする。クモの巣形状の特徴として、クモの巣形状は最低 3 点の支え (以下、「基点」とする) でできている。本手法では、形状の違いを比較できると判断した 6 点まで、基点の数を考慮する。それぞれの基点から伸びる枠糸がくっつく点 (以下、接糸点とする) がある。他に、基点に近い枠糸上に、枠糸間で張る糸がある。枠糸ではないものの、縦糸が張られ、アーチ構造のように巣全体の負荷を軽減する働きがあると考えることができる糸 (以下、アーチ糸とする) がある。枠糸は中心に向かってへこむ形にカーブを描いている。この形状は、膨潤によるクモの巣形状の全体が収縮しているためである。そして、横糸はうずまき形状になっている。本手法において、アーチ糸に張られている縦糸の数は、現実のクモの作る円網形状の巣を比較し [16][10]、大よそ 1~3 本の縦糸の数が見られたため、この数の生成とする。

横系においても、現実のクモの作る円網形状の巣を比較し、最大で45本までの横系の巻き数の生成とする。図(3.1)では、接糸点・アーチ糸・基点についての位置を示している。

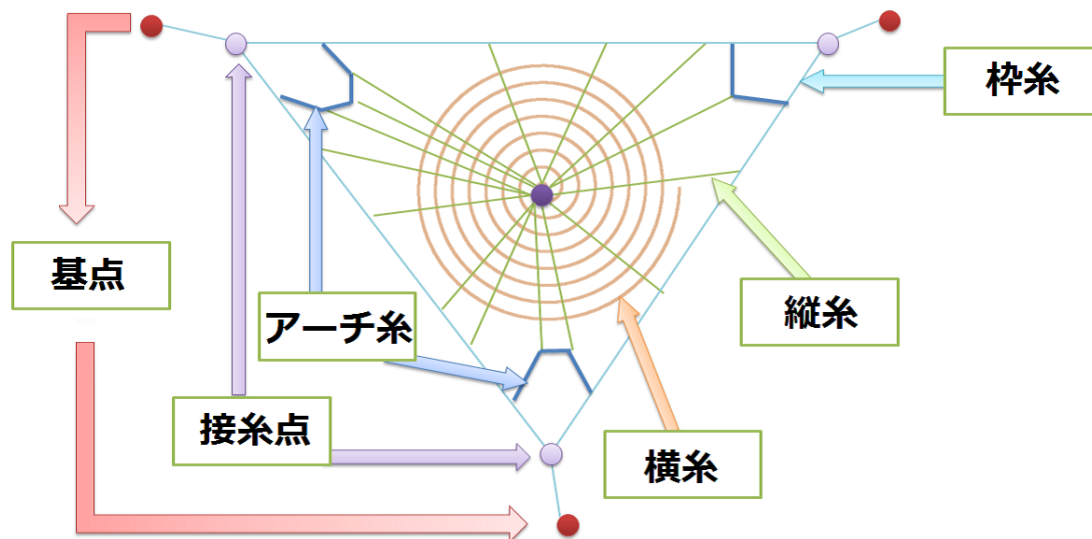


図 3.1: 本研究で取り扱う特徴的なクモの巣形状の部位の説明

これらの特徴を本手法で実現することが目的である。次の小節から、重心・縦糸・横系の生成手法について説明する。なお、各小節で定義したベクトルや数値は、本章内で共通とする。

3.2 重心と枠糸

まず、基点が n 点 ($3 \leq n$) だった場合、それぞれの点を位置ベクトル \mathbf{P}_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) とし、重心 \mathbf{G} を式 (3.1) を用いて求める [17]。

$$\mathbf{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_i \quad (3.1)$$

各基点から重心 \mathbf{G} の線分上に、割合 t ($0.1 \leq t \leq 0.2$) を用いて、式 (3.2) を解し、新たに位置ベクトル \mathbf{P}'_i とする。

$$\mathbf{P}'_i = (1 - t)\mathbf{P} + t\mathbf{G} \quad (3.2)$$

t が $0.1 \leq t \leq 0.2$ の範囲なのは、クモの巣形状全体を生成した際に、生成された箇所の確認をしやすいよう、短めにとってある。ここを接糸点とする。次に、順方向のベクトル \mathbf{P}'_j を式 (3.3), 逆方向のベクトル \mathbf{P}'_k を式 (3.4) で表す。

$$j = \begin{cases} i + 1 & (i \neq n) \\ 1 & (i = n) \end{cases} \quad (3.3)$$

$$k = \begin{cases} i - 1 & (i \neq 1) \\ n & (i = 1) \end{cases} \quad (3.4)$$

アーチ糸を生成するために、割合 s ($0.25 \leq s \leq 0.30$) を使い、 $\mathbf{P}'_i\mathbf{P}'_k$ 上に式 (3.5) を用いて \mathbf{Q}_i の位置ベクトルを求める。

$$\mathbf{Q}_i = (1 - s)\mathbf{P}'_i + s\mathbf{P}'_k \quad (3.5)$$

s が $0.25 \leq s \leq 0.30$ の範囲なのは、実際のクモの巣の形状にあるアーチ糸の位置を再現するためである [16]。次に、 $\mathbf{P}'_i\mathbf{P}'_j$ 上に式 (3.6) を用いて \mathbf{R}_i の位置ベクトルを求める。

$$\mathbf{R}_i = (1 - s)\mathbf{P}'_i + s\mathbf{P}'_j \quad (3.6)$$

ここまでの流れは図 (3.2) の通りである。 $\mathbf{P}_i\mathbf{P}'_i$ は最終的に生成される線である。図では本手法で最大とする 6 個の基点として扱っている。 $\mathbf{P}'_i\mathbf{P}'_j$ と、 $\mathbf{Q}_i\mathbf{R}_i$ を視覚的な補助のために引いた。

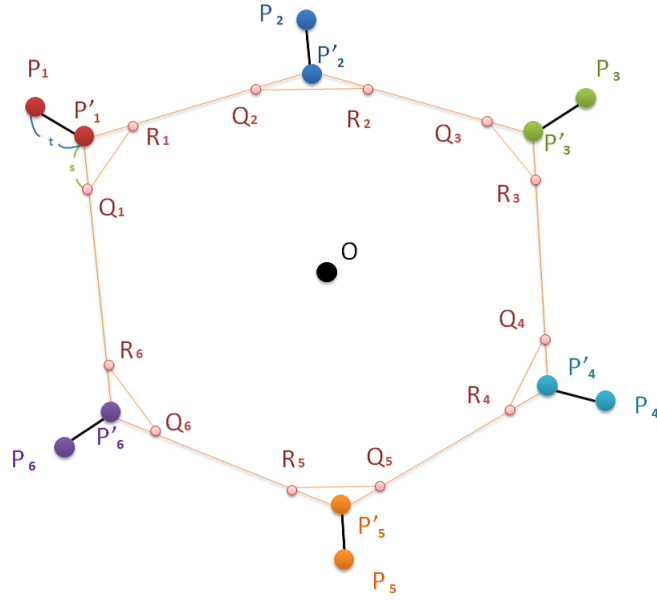


図 3.2: 基点から枠糸の位置の図解

3.3 縦糸

アーチ糸上の縦糸の位置を求めるために、線分 Q_i, R_i の長さに応じて $U(1 \leq U \leq 3)$ 等分する。等分された点の位置ベクトルを $B_{i,u}(u = 1, \dots, U)$ とする。この点の位置を隣接する点が結ぶ線上の範囲で、隣接する点に接触しない範囲であるランダム値 $r(0.3 \leq r \leq 0.7)$ を用いて式 (3.7) の位置に動かす。動いた位置ベクトルを $A_{i,u}(u = 1, \dots, U)$ とする。ランダム値 r は各位置ベクトル $A_{i,u}$ 毎に定義されるものとする。なお、 \wedge は論理積とする。

$$A_{i,u} = \begin{cases} (1-r)Q_i + rR_i & (U=1) \\ (1-r)Q_i + rB_{i,u+1} & (1 < U \wedge u=1) \\ (1-r)B_{i,u-1} + rB_{i,u+1} & (U=3 \wedge u=2) \\ (1-r)B_{i,u-1} + rR_i & (U=u) \end{cases} \quad (3.7)$$

枠糸上の縦糸の位置を求めるために、線分 $R_i, Q_{i+1}(i \neq n)$ と $R_i, Q_1(i = n)$ の長さに応じて $V(4 \leq V \leq 8)$ 等分する。等分された点の位置ベクトルを $\beta_{i,v}(v = 1, \dots, V)$ とする。この点の位置を隣接する点が結ぶ線上の範囲で、ランダム値 r を用いて式 (3.8) の位置に動かす。動いた位置ベクトルを $\alpha_{i,v}(v = 1, 2, 3, \dots, V)$ とする。ラン

ダム値 r は各位置ベクトル $\alpha_{i,v}$ 毎に定義されるものとする。

$$\alpha_{i,v} = \begin{cases} (1-r)\mathbf{R}_i + r\beta_{i,v+1} & (v=1) \\ (1-r)\beta_{i,v-1} + r\beta_{i,v+1} & (1 < v) \\ (1-r)\beta_{i,v-1} + r\mathbf{Q}_{i+1} & (V=v \wedge i \neq n) \\ (1-r)\beta_{i,v-1} + r\mathbf{Q}_1 & (V=v \wedge i = n) \end{cases} \quad (3.8)$$

ここまでの流れは図 (3.3) の通りである。図内は \mathbf{P}_1 から \mathbf{P}_3 にかけてピックアップしている。 $\mathbf{A}_{i,u}\mathbf{G}$ と、 $\alpha_{i,v}\mathbf{G}$ を視覚的な補助のために引いた。

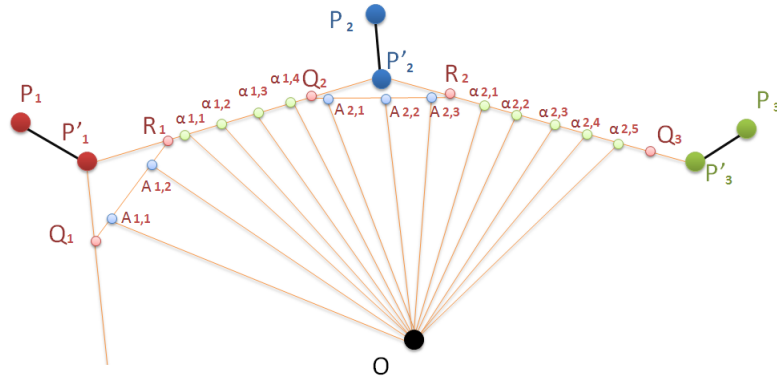


図 3.3: 縦糸を張る位置となる点の定義

3.4 収縮率

収縮率を考慮に入れた縦糸の位置を計算する。本手法においての収縮率は、縦糸の元の長さより何%縮むかを考慮に入れ、接糸点への影響を変えるものである。 $\mathbf{Q}_i\mathbf{R}_i$ の中心の糸 $\mathbf{A}_{i,c}$ の c を求めるために、式 (3.9) を用いる。 $\mathbf{R}_i\mathbf{Q}_{i+1}$ ($i \neq n$) と $\mathbf{R}_i\mathbf{Q}_1$ ($i = n$) の中心の糸 $\alpha_{i,d}$ の d を求めるために、式 (3.10) を用いる。

$$c = \begin{cases} \frac{1}{2}U + \frac{1}{2} & (U \text{ が奇数}) \\ \frac{1}{2}U & (U \text{ が偶数}) \end{cases} \quad (3.9)$$

$$d = \begin{cases} \frac{1}{2}V + \frac{1}{2} & (V \text{ が奇数}) \\ \frac{1}{2}V & (V \text{ が偶数}) \end{cases} \quad (3.10)$$

収縮率 $m(0 \leq m \leq 0.6)$ を用いて $\mathbf{A}'_{i,u} \mathbf{G}$ を式 (3.11) で求める。

$$\mathbf{A}'_{i,u} = (1 - (m - \gamma))\boldsymbol{\alpha}_{i,v} + (m - \gamma)G \quad (3.11)$$

式 (3.11) の γ の数値は、式 (3.12) の数値である。この際、アーチ糸の位置は枠糸よりも内側にくるため、補正するための値 $m'(m' = 0.2)$ を用いる。式 (3.12) で 0.05 を引くところは、アーチ糸にかかる真ん中の縦糸に隣接する縦糸を山なりにするためである。なお、 \vee は論理和とする。

$$\gamma = \begin{cases} 0 & (m = 0) \\ 0.05 & ((U \text{ が奇数} \wedge u = c + 1) \vee u = c - 1) \end{cases} \quad (3.12)$$

同じように収縮率 m を用いて $\boldsymbol{\alpha}'_{i,v}$ を $\boldsymbol{\alpha}_{i,v} \mathbf{G}$ を式 (3.13) で求める。

$$\boldsymbol{\alpha}'_{i,v} = (1 - (m - \delta))\boldsymbol{\alpha}_{i,v} + (m - \delta)G \quad (3.13)$$

式 (3.13) の δ の数値は、 V が奇数の場合は式 (3.14) で求める。

$$\delta = \begin{cases} 0 & (v = d) \\ 0.01 & (v = d + 1 \vee v = d - 1 \vee (m < 0.03 \wedge v \neq d)) \\ 0.02 & (v = d + 2 \vee v = d - 2) \\ 0.04 & (v = d + 3 \vee v = d - 3) \end{cases} \quad (3.14)$$

V が偶数のときには式 (3.15) で求める。式 (3.14)、式 (3.15) で 0.01, 0.02, 0.04 という数値になるのは、枠糸のカーブを再現するためである。

$$\delta = \begin{cases} 0 & (v = d \vee v = d + 1) \\ 0.01 & (v = d + 2 \vee v = d - 1 \vee (m < 0.03 \wedge v \neq d)) \\ 0.02 & (v = d + 3 \vee v = d - 2) \\ 0.04 & (v = d + 4 \vee v = d - 3) \end{cases} \quad (3.15)$$

縦糸となる $\mathbf{A}'_{i,u}\mathbf{G}$ と、 $\alpha'_{i,v}\mathbf{G}$ に線を結ぶ。次に、枠糸となる線を、順方向で $\mathbf{P}'_i\alpha'_{i,1}$ に線を結ぶ。逆方向で枠糸となる線をを結ぶために、式 (3.16) を用いて $\alpha'_{e,v}$ の e の数値を表す。 $\mathbf{P}'_i\alpha'_{e,v}$ 線を結ぶ。

$$e = \begin{cases} i - 1 & (i \neq 1) \\ n & (i = 1) \end{cases} \quad (3.16)$$

ここまでの流れは図 (3.4) の通りである。 $\mathbf{A}'_{i,u}\mathbf{G}$ と、 $\alpha'_{i,v}\mathbf{G}$ が結ぶ線は生成される縦糸の線となる。 $\mathbf{P}'_i\alpha'_{i,1}$ と、 $\mathbf{P}'_i\alpha'_{e,v}$ が結ぶ線は生成される枠糸の線となる。

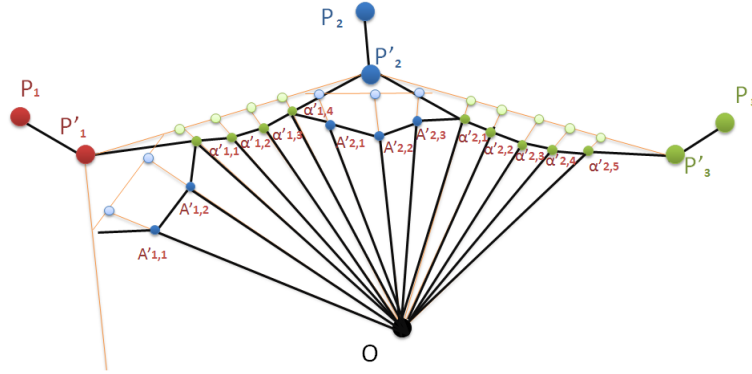


図 3.4: 収縮率を考慮した縦糸の位置

3.5 横糸

生成したい横糸の巻き数 $K(5 \leq K \leq 45)$ を設定する。縦糸の総数を、 F とする。横糸の位置ベクトル $\mathbf{H}_{k,f}(k = 1, 2, \dots, K)(f = 1, 2, \dots, F)$ を求めるために、 $\mathbf{A}_{1,1}$ から順方向に式 (3.17) を用いる。式 (3.17) で $u = U$ となった際、式 (3.18) で $\mathbf{H}_{k,f}$ を求める。式 (3.18) で $f = F$ となった際、 k の数値が 1 つ増えるものとする。 $i = n$ の場合-0.05 されるのは、横糸がうずまき形状を形成するために、少し中心よりはずれる必要があるためである。

$$\mathbf{H}_{k,f} = \begin{cases} (1 - (m + m')(K - k))\mathbf{A}_{i,u} + (m + m')k\mathbf{G} & (i \neq n) \\ (1 - (m + m' - 0.05)(K - k))\mathbf{A}_{i,u} + (m + m' - 0.05)k\mathbf{G} & (i = n) \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\mathbf{H}_{k,f} = \begin{cases} (1 - (m + m')(K - k)\boldsymbol{\alpha}' + (m + m')kG & (i \neq n) \\ (1 - (m + m' - 0.05)(K - k)\boldsymbol{\alpha}_{i,v} + (m + m' - 0.05)kG & (i = n) \end{cases} \quad (3.18)$$

ここまでの流れは図(3.5)、図(3.6)の通りである。図(3.5)は、全体的に横系の位置となる $\mathbf{H}_{k,f}$ を配置した図である。図(3.6)は、 $\mathbf{H}_{1,1}$ を中心に、横系がうずまき形状になる流れを示した図である。 $\mathbf{H}_{k,f}$ と順方向に隣接するベクトルを結ぶ線が生成される横系の線となる。

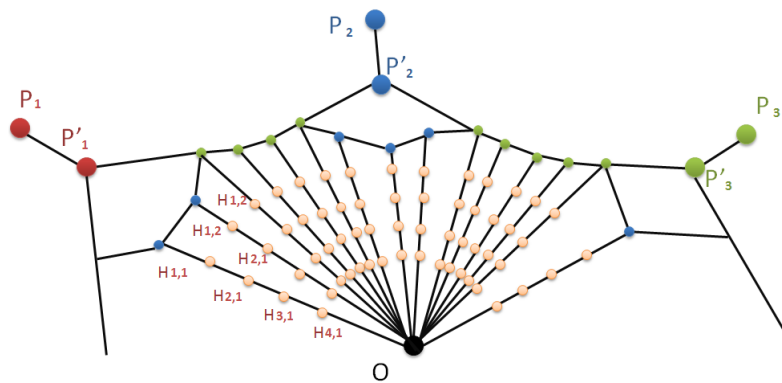


図 3.5: 横系を張る位置

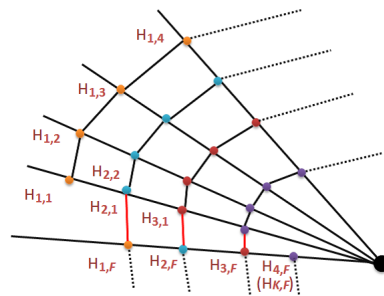


図 3.6: 横系のうずまき形状の流れ

第 4 章

結果と評価

4.1 実行結果

第 3 章で示した手法を 3D グラフィックツールキットである FK System[18] を用いて実装し、クモの巣の自動生成のパターンを確認する。基本的に、巻き数を 15、収縮率を 10 % に設定して生成を行った。

はじめに、3~6 までの基点で生成されるクモの巣形状を比較した。図 4.1 が基点が 3 つ、図 4.2 が基点が 4 つ、図 4.3 が基点が 5 つ、図 4.4 が基点が 6 つとなっている。

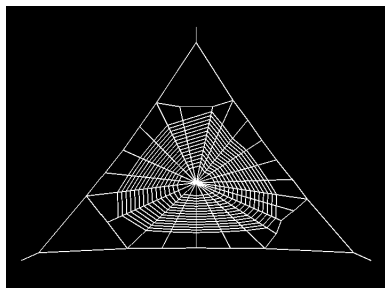


図 4.1: 基点を 3 つとしたクモの巣形状

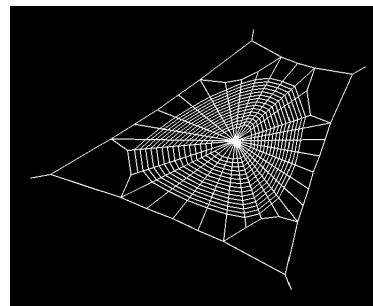


図 4.2: 基点を 4 つとしたクモの巣形状

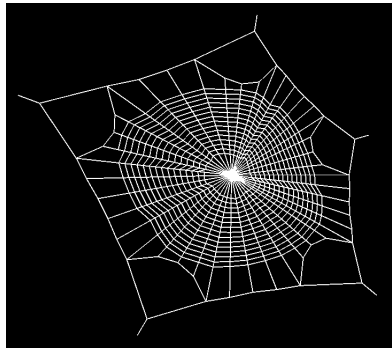


図 4.3: 基点を 5 つとしたクモの巣形状

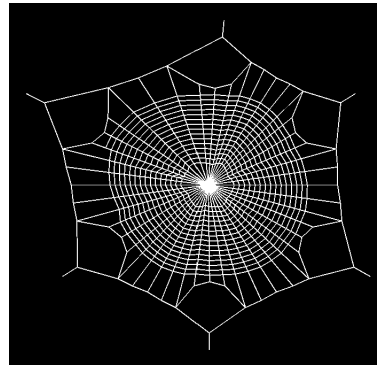


図 4.4: 基点を 6 つとしたクモの巣形状

次に、横糸の量を調節したものを、基点を 6 つとする巣でそれぞれ 5 と 25 と 45 の数を代入し比較した。図 4.5 は 5 回の巻き数、図 4.6 が 25 回の巻き数、図 4.7 が 45 回の巻き数となっている。

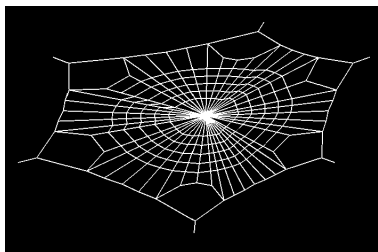


図 4.5: 5 回の巻き数のクモの巣形状

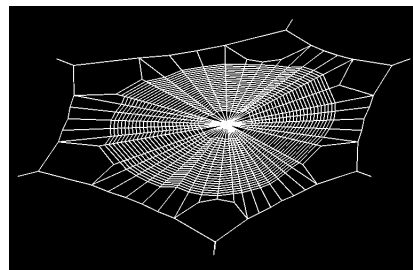


図 4.6: 25 回の巻き数のクモの巣形状

次に、収縮率を変更した基点を 6 つとする巣で比較した。図 4.8 が収縮率 10 % のもので、図 4.9 が収縮率 40 % で生成したものとなっている。

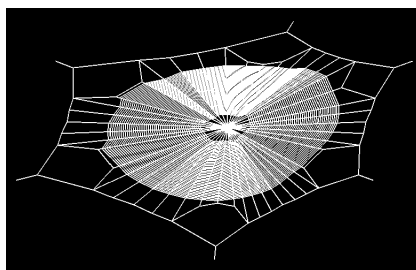


図 4.7: 45 回の巻き数のクモの巣形状

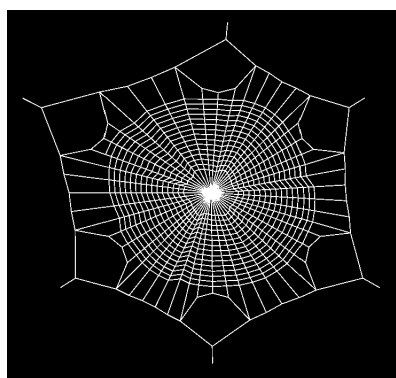


図 4.8: 収縮率 10 % を代入して生成したクモの巣形状

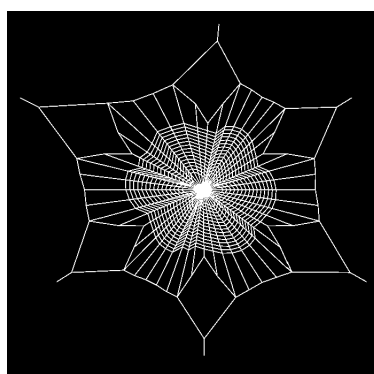


図 4.9: 収縮率 40 % を代入して生成したクモの巣形状

次に、基点の位置を調節し、辺の長さの違いで縦糸の張られる量に違いが見られるかを試した。図 4.10 では、左側の長い辺 A 上には 5 本の縦糸が、右側の短い辺 B には 3 本の縦糸が生成できた。図 4.11 では、左側の長いアーチ糸となる辺 C に縦糸が 3 本張られているが、右側の短いアーチ糸となる辺 D に縦糸には 2 本の縦糸が生成できた。

最後に、実際のクモの巣形状と本手法で生成したクモの巣形状を比較した。図 4.12 にある枠糸のカーブやアーチ糸やうずまき形状が図 4.13 でも再現できている。

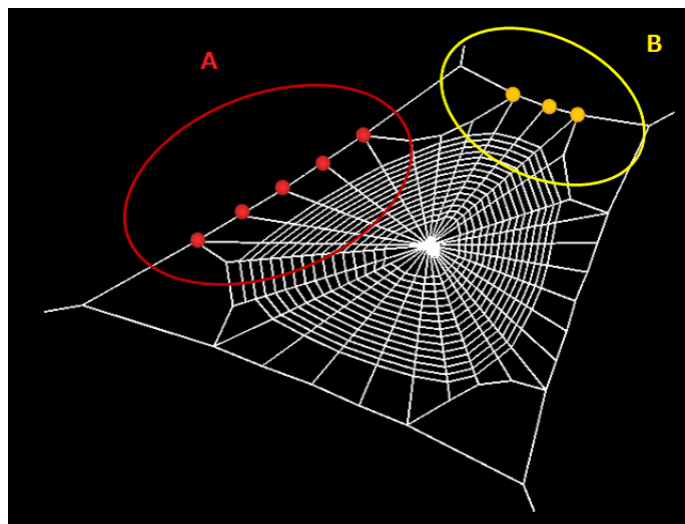


図 4.10: 枠糸上の縦糸

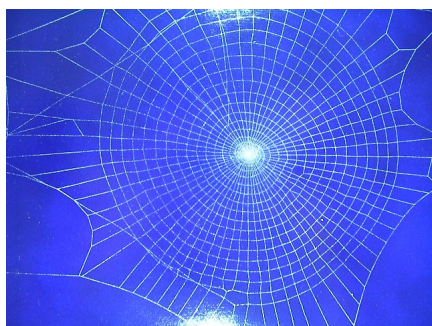


図 4.12: クモが張ったクモの巣

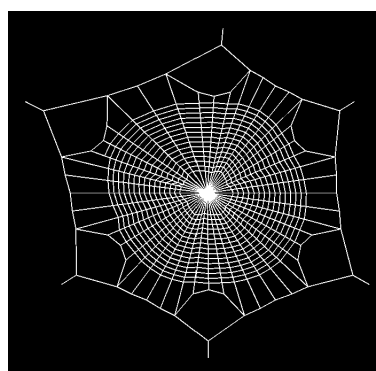


図 4.13: 本手法で生成したクモの巣形状

4.2 考察

本手法では、パラメータによって様々な特徴を持つクモの巣形状を生成できた。3章で述べた条件として、最低3点の基点を持つところ、アーチ糸があること、横糸がうずまき形状であること、縦糸が枠糸の長さによって本数が変化する点を挙げた。更に、収縮率を考慮し、クモの巣形状が受ける影響を考慮することを挙げた。

まず、基点の数を最低3点から6点までの間で自由に生成することができた。生

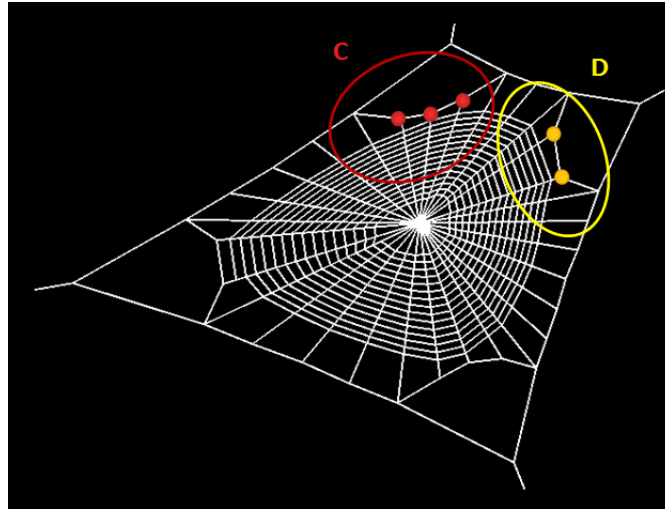


図 4.11: アーチ糸状の縦糸

成のアルゴリズムを調整すれば、より多くの基点を持つクモの巣形状を作ることが可能である。次に、アーチ糸の生成も行うことができた。現在は各接糸点を中心に全ての場所に存在するが、稀にはあるが接糸点から直接縦糸が張られている場合があり、それを考慮した生成はできていない。次に、横糸がうずまき形状を形成していることを確認できた。本研究では、縦糸の長さから割合で横糸の位置を決めているだけであるが、大よそ実際のクモの巣の形状に近いばらつきも再現できたと考える。次に、縦糸が粹糸の長さで本数が変化することを確認できた。最後に、収縮率を変化させることによって、クモの巣全体が収縮し、粹糸が中心に向かってへこむ形を再現することができた。

現状の問題点として、基点が少ないクモの巣形状で、横糸を綺麗な円状に近づけるにはより細かいパラメータの調節が必要であることが分かった。実際のクモの巣でもその形状にはばらつきはあるものの、基点の数が少なくとも横糸を綺麗な円状に作ることができる。他に、クモの巣の中心を重心として生成を行ったが、実際のクモの巣の形状にはばらつきがあるため、そこも考慮すべきだと考える。横糸に対して外部からの影響を考慮していなかったため、破壊等による形状の変化や弛みの表現をすることによって、より自然なクモの巣形状の生成が可能だと考

える。

第 5 章

まとめ

本研究では、3DCG におけるクモの巣形状の自動生成の手法を提案した。基点の数や縦糸・横糸の数、収縮によって起こるクモの巣形状の変化を考慮し、それに対応するクモの巣形状の生成ができた。縦糸や横糸、枠糸に関しては形状を著しく乱さない範囲で、ランダムに抽出された値分だけ糸の位置をずらすことにより、自然な形状の乱れを表現できた。また、アーチ糸を生成することと、枠糸を中心にへこむ形を再現することで、実際の正常円網の特徴を表現することができた。本研究の手法と平面的な当たり判定を自動的に算出するアルゴリズムをあわせることによって、3D 形状モデルに対して本研究のクモの巣形状の自動生成が可能となる。

今後の展望として、本研究では正常円網の自動生成であるため、円網の種類に分別される他の網の形状も近い方法で自動生成の方法を求めると考える。

謝辞

研究を進めるにあたり、渡辺大地講師、竹内亮太様、阿部雅樹様、小島啓史様に深く感謝します。多くの問題点を抱える研究であるため、質問の意図がうまく伝わらず、何度も困惑する話をしてしまいましたが、きちんと相談に乗って頂いて助かりました。何度も勘違いをして渡辺先生に叱咤を受けたことで、少しは自分を知ることができました。手法の提案について困ったときにも、夜遅くまで先輩方に手伝っていただき、うまくまとめることができました。

そして、級友である仁藤さん、阿部君、久保田君、多胡君、生杉君、張元君、木島君、みんなくだらない話や研究のことで色々と話せて楽しかったです。特に、仁藤さんには研究でも相談に乗ってもらい、短時間で作業が捗ることが出来ました、感謝しています。

最後に、ゲームサイエンスプロジェクトの研究室に感謝を述べることで、締めとさせていただきます。

参考文献

- [1] Pascal Muller, “Procedural modeling of buildings,” *SIGGRAPH, 2006* (2006).
- [2] 成田晃, “ダンジョン形状の自動生成に関する研究,” **東京工科大学ゲームサイエンス** (2010).
- [3] 森田宏明, “サンゴの形状特性を考慮したモデルの自動生成手法の提案,” **東京工科大学 ゲームサイエンス** (2009).
- [4] 笠倉修, “生長過程を考慮したツル植物の自動生成の研究,” **東京工科大学ゲームサイエンス** (2009).
- [5] 浅間茂, 石井規雄, 松本嘉幸, [改訂校庭のクモ・ダニ・アブラムシ], 全国農村教育協会 (2002).
- [6] Fangwei Lee, Alex Ongaro, Domin Lee, August Meredith, “Building and animating cobwebs for antique sets,” *SIGGRAPH* (August 2011).
- [7] Fabricio Chamon, “Aging cobwebs compound,” (July 2011).
- [8] 小野展嗣, [クモ学—摩訶不思議な八本足の世界], 東海大学出版会 (2002).
- [9] Blackledge, T., “Stabilimentum variation and foraging success in *argiope aurantia* and *argiope trifasciata*(1998),”

- [10] 池田博明, “Spider data.”
<http://homepage3.nifty.com/~hispider/spiderdata.htm#mijikana>
(1998).
- [11] 小野展嗣, “日本産クモ類,” **日本蜘蛛学会**, 420–463 (2009).
- [12] Blackledge, T., “Extraordinary web and silk properties of cyrtarachne(2000),”
- [13] 池田博明, 新海明, 谷川明男, “クモの巣と網の不思議.”
- [14] 大崎茂芳, “蜘蛛の糸-その蛋白質科学,” **奈良県立医科大学医学部繊維学会誌 Vol.41, No.14** (1996).
- [15] 大崎茂芳, “クモの糸の秘密,” **奈良県立医科大学医学部 繊維学会誌 Vol.62, No.2** (42-47 2006).
- [16] 船曳和代, 新海明, [**クモの網-What a Wonderful Web!**], INAX BOOKLET (2008).
- [17] Fletcher Dunn, Ian Parberry, [**実例で学ぶゲーム 3D 数学**], オライリー・ジャパン (2008).
- [18] Fine Kernel Project, “Fine Kernel ToolKit System.”
<http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.