J_076

主観的輪郭のCaptchaへの応用

Application of Subjective Contours for Captcha System

早稲田大学大学院理工学研究科 情報ネットワーク専攻
村岡研究室 修士課程一年
橋本 弥弦

概 要

Captcha[†] とは、相手がコンピュータではないことを確認するシステムの総称である。一般によく見かける形式に、画像の中に描かれている数字やアルファベットをユーザに入力させるものが多く、不正にWebサービスの登録を試みるボット(bot)への、有効な対策手段とされている。しかし、近年のOCR技術の発展と共にその解析コストは低下し、世界的に有名なCaptcha"Gimpy"が約30%の精度で解析され、世間を騒がせた事は今も記憶に新しい。本研究では、未だ理論的に解明されていない錯覚現象「主観的輪郭」を応用することにより、本質的に解析の困難なCaptcha画像生成の可能性を示した。

《キーワード：主観的輪郭、キャプチャ、透明視、画像処理》
《Keyword : Subjective Contours, Captcha, Transparency, Image Processing》

1 研究背景

Captchaとは、相手がコンピュータではないことを確認する自動チューリングテストの名称であり、Luis von Ahnら[1]によって開発命名された。一般によく見かける形式に、画像の中に描かれている数字やアルファベットをユーザに入力させるもの（以下、"文字列Captcha"）が多く、不正にWebサービスの登録を試みるボット(bot)への、有効な対策手段とされている。世界的に有名な文字列Captchaとしてカーネギーメロン大学のEZ-Gimpyや、後に米Yahooと提携して開発されたGimpy（図1）などがある。

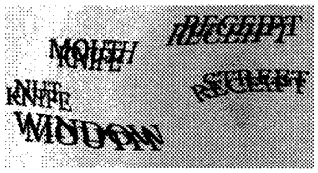

図1: Gimpy

2 Captchaの現状と問題

従来の文字列Captchaは、コンピュータによる文字認識が困難であるために解析コストが十分高いとされていた。しかし2006年現在、OCR(光学式文字読取装置)技術の精度は99.7%にまで向上し、押しつぶした文字や、ぼかしを加えた文字などの障害であっても高い認識精度を示すようになった。現状では、代表的且つ解析が困難とされてきたCaptchaのひとつEZ-Gimpyが、近年90%の精度で解析され、さらに高度な加工を加えたGimpyであっても30%の精度で解析されたという報告が出ている。そんな中、EZ-Gimpyよりも解析が容易なCaptchaは多数存在しており、形として存在する文字を加工する処理では、OCR技術の発展と並行して安全とは言えなくなっている（図2)。

3 主観的輪郭の有効性

3.1 主観的輪郭とは

主観的輪郭とは視覚処理系の錯覚の一種であり、輪郭(明度の差)が存在していなくとも形状が知覚される現象である。主観的輪郭は、20世紀初頭にF.Schumann

[1]†"Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart"の略称
[2]‡ 重複する部分の色領域において「2つの図形が重なっている」と知覚できる現象

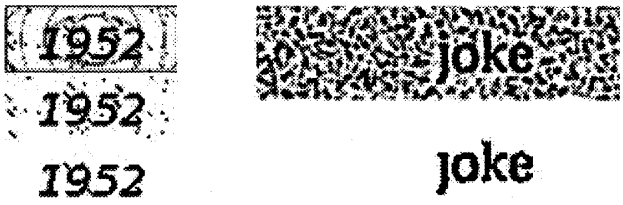

図 2: 画像処理後の Captcha

が観察して以来、生理学・心理学の両面から研究が行われてきた。しかしその知覚メカニズムを初め、主観的輪郭を正確に抽出する決定的なモデルは提案されておらず、現状のモデルでは特定の条件でしか抽出できていない。この主観的輪郭を応用することによって、従来の文字列 Captcha をより解析コストの高いものに改善できると考えられる。つまり、存在するものを隠すのではなく、存在しないものが見える主観的輪郭（錯覚）の特質を利用することで、OCR 技術の発展と並行しないアプローチができると考えられる。

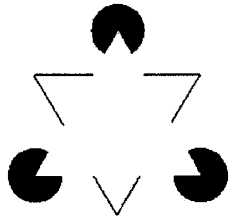

図 3: 三角形

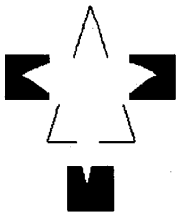

図 4: イチョウ

3.2 主観的輪郭の生成プロセス

主観的輪郭の生成プロセスは、「仮想線の形成」と「層の形成」の 2 つに分かれている。前者は、欠損した輪郭部に線分や曲線を補完するプロセス。後者は、仮想線と実線によって囲まれた図形が、背景とは独立し、浮き上がって見えるプロセスである。この両プロセスとも、人間は無意識に行っているが、後者については論理的な理解がされていない。したがって、コンピュータによって主観的輪郭の解析を試みる場合、前者の「仮想線の形成」という単一プロセスのみから輪郭を抽出する方法が有効とされている。

3.3 従来の解析モデル

このように、単独のプロセスから主観的輪郭を抽出するモデルというのは、実際に幾種類か提案されている [2][4][5]。また、層の形成プロセスを脳の処理機構を真似ることで実現しようとしたモデル [3] も提案されているが、いずれも特定の条件でのみ成功しているにとどまり、複雑に図形が混同したような条件下で成功した例は報告されていない。

3.4 主観的輪郭の応用可能性

主観的輪郭は、連結しうる欠損した輪郭部や内部に図形が侵入した場合でも生成される（図 5）。また透明視効果 ‡ を利用しても主観的輪郭の現象性が維持される（図 6）ことから、単調にならない様々なパターンの主観的輪郭画像を生成でき、応用範囲も広いと考えられる。

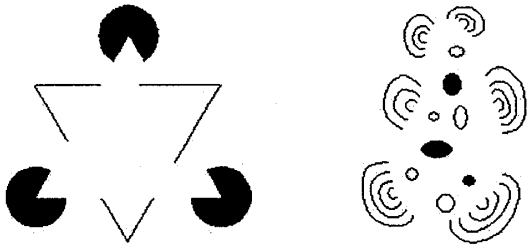

図 5: 主観的輪郭の実在性

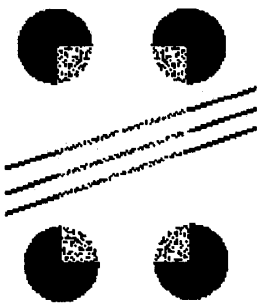

図 6: 透明視効果の応用

4 実験方法

4.1 錯視 Captcha 画像の作成

現在提案されている主観的輪郭の解析モデルは、仮想線の形成プロセスに頼るものが多く、欠損した輪郭と輪郭を結ぶ連結点の組を正確に選択する精度が求められる。そこで、選択しうる連結点の数を増やすなど、次の条件を満たした錯視 Captcha 画像を、独自に生成した。実際に作った画像の例を図 7 に示す。

1. 複数の主観的輪郭図形を重ね合わせる。
2. 正解輪郭に沿った線分を一部描画する。
3. 誘導図形（主観的輪郭の物理輪郭の一部を持つ図形）の一部に「点」を交える。
4. ノイズによる透明視効果を交える。

図 7: 錯視 Captcha の例

4.2 実験目的

主観的輪郭を利用した Captcha の解析コストが高いものであることを証明するためには、まず復元するときに適切な点を連結する困難性を確認しなくてはならない。また、1 つの画像に対する復元された図形の総数と、元図形との類似度を算出することで、解析コスト（復元精度）を確認する。

4.3 実験方法

本実験の主観的輪郭の解析には、仮想線の形成プロセスで有力とされる、安田ら [2] のモデルを応用した。まず、仮想線の形成プロセスから主観的輪郭を追跡するとき、連結する点の組を求める。各点ごとに評価関数によって連結可能性の高い点を記録することで、「一点あたりの有効連結点の平均数」を記録する。また主観的輪郭の復元時には、上記の一点あたりの有効連結点の数を上位 5 個に絞り、復元する際に連結したすべての点の中で最も下位だったレベルを、その図形の「復元レベル」と定義する。たとえばある四角形を復元するとき、1-1-1-1 のように、最も評価値が高い有効連結点だけで復元された図形が「復元レベル 1」、1-1-3-2 のように復元された四角形は「復元レベル 3」となる。そして、このような基準で復元された図形の、復元レベルごとの復元数と単純類似度を算出してグラフ化する。この時、従来様々な生成実験で利用されてきた基本的な主観的輪郭画像（以下、基本画像）と比較する。本実験では、主観的輪郭を利用した錯視画像 100 枚、基本画像 100 枚を作成して実験を試みた。

5 実験結果

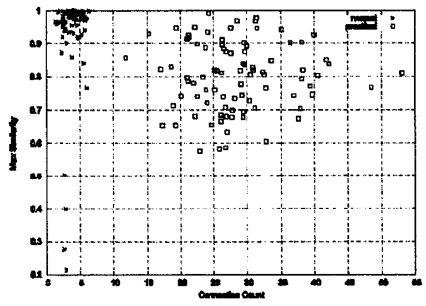

図 8: 有効連結点数と最大類似度

この結果から有効連結点数が大きくなるほど、元図形との類似度が低下していることが分かった。さらに解析精度を高めるためには、連結すべき点の候補を減らす必要があるだろう。

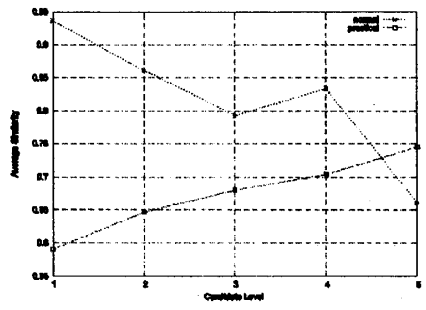

図 9: 復元レベルと平均類似度

復元レベルが高くなるほど、類似度が高くなる。つま

り考慮すべき有効連結点の数を増やすほど、元図形に近づきつつあるが、それでも類似していると断定できる値（類似度9以上）には届いていない。つまり、復元精度そのものが低いことが見て取れる。肉眼で確認しても、いずれも元図形と大きく異なった結果となった。

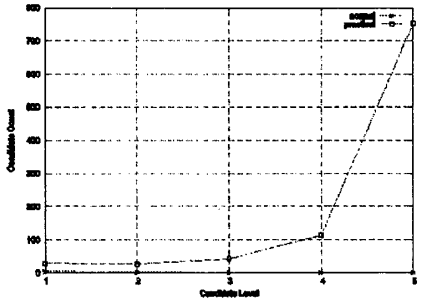

図 10: 復元レベルと復元数

考慮すべき有効連結点の数が増えるほど、復元される図形の数も指数関数状に増えていく。図8や図9の結果から、復元レベルが高くても元図形に類似した図形はほぼ存在しないため、復元レベルを5まで取っても不十分、且つ復元数が膨大になり、有力な復元図形を選択することが確率的に困難であることが分かる。

6 結論

本実験により、主観的輪郭の単一生成プロセスだけでは、複雑な主観的輪郭画像の追跡は困難であり、主観的輪郭の層形成プロセスの究明、あるいは何か異なるアプローチをしていく必要があることが分かった。また、主観的輪郭の層形成プロセスが解明される目処が立っていないことからも、この主観的輪郭を応用することで、Captcha をはじめ、コンピュータと人間を識別する必要のあるシステムに有効に活用できることを確認した。

7 今後の課題

本研究により、主観的輪郭を用いることで、解析コストの高い Captcha システムを生成できる可能性があると分かった。しかし、層形成に関する理論的な説明がされていないために、今回独自に実装した主観的輪郭の生成アルゴリズムでは、主観的輪郭が生成される確率が極めて低く完成度が低いのが現状である。また、主観的輪郭が万人の人に等しく知覚されるとは限らないため、アルゴリズムや完成度の評価が困難である。従って、今後は主観的輪郭のオリジナルな生成アルゴリズムをいくつか提案するのみならず、生成された主観的輪郭に何かしらの評価方法を提案していく必要があるだろう。

参考文献

[1] Luis von Ahn, Manuel Blum, Nicholas J. Hopper, John Langford:"CAPTCHA: Using Hard AI Problems For Security" Papers: Cryptology,Eurocrypt 2003.294-311

[2] 安田浩之, 安藤和久, 大西昇:"物理的に存在しない輪郭線の抽出", 電子情報通信学会論文誌 (D-II),J73-DII,6,pp.906-913(1990-06)

[3] 生田剛一, 福島邦彦: "主観的輪郭を説明する神経回路モデル", 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会, No. NC90-132 (1991.3.19).

[4] 石寺永記、荒井祐之, 土屋雅彦, 宮内裕子, 高橋信一, 栗田正一:"主観的輪郭の形成に関する視覚情報処理モデル", 電子情報通信学会論文誌"(D-II),J76-DII,4,pp.873-880(1993-04)

[5] Masato Hirano and Tsuyoshi Yamamura:"Contour completion by an N-gram model "IPSJ SIG Technical Report(2004)

[6] "視覚の文法ゲシュタルト知覚論"著:カニッツァ/訳:野口薫 サイエンス社 (1976)

[7] Marr D.:"Vision, Freeman"(1982), 乾敏郎、安藤広志訳:"ビジョン-視覚の計算理論と脳内表現", 産業図書 (1987)

[8] 小山隆正, 勘敏郎："点パターンの構造化に関する神経回路モデル", 信学情報、MBE89-104(1989)

[9] 斉藤秀昭："脳の生理学-b. 視覚", 日本臨床,45,9,pp.1936-1947(1987)