

マイクロタスクによる線画イラスト生成手法

佐々木 孝輔^{1,a)} 平田 章^{1,b)} 井上 智雄^{2,c)}

受付日 2015年4月10日, 採録日 2015年10月2日

概要: イラストは、読者を引きつけると同時に文書などの可読性を高めることができるが、だれでも作成できるものではないため、需要が大きいコンテンツの1つである。従来、高品質かつ高価格で、イラストを必要とするクライアントの要望に応じ最適なイラストがプロのイラストレーターによって提供されてきた。これに対して本研究では、クライアントの要望に則したイラストを描画能力を問わない複数人で作成することを目的とし、線画イラスト作成をマイクロタスク化し、それをクラウドソーシングにより実行する線画イラスト生成手法を考案した。本手法では1枚の写真を原図とし、複数の一般ワーカが原図を見ながら少しずつ線を描き加えることで、1枚の線画を生成する。本手法による線画イラスト生成の実験から、実際に線画イラスト生成が可能であることが確認できた。

キーワード: クラウドソーシング, マイクロタスク, イラスト生成

A Basic Drawing Generation Method by Crowdsourced Microtasks

KOSUKE SASAKI^{1,a)} AKIRA HIRATA^{1,b)} TOMOO INOUE^{2,c)}

Received: April 10, 2015, Accepted: October 2, 2015

Abstract: Illustration is a key factor to attract document readers. However not everybody can make it in good quality. Thus illustration has high demand. Although conventionally clients request skilled creators to draw illustrations with good rewards, there exists huge needs for less expensive illustrations. We propose a novel method of generating such illustrations by crowd-sourced microtasks. In this method, a basic drawing is generated by unskilled crowd workers from one photograph. Experimentation to study the feasibility of the proposed method indicated positive result.

Keywords: crowdsourcing, microtask, drawing generation

1. はじめに

雑誌, 書籍, 広報誌など, 様々なメディアにおいて読者を惹きつけるものの1つにイラストがある。これまでイラストを必要とするクライアントは, 一般的にイラストレーターと呼ばれる専門性の高い職に就く者に構図や配色などのイラストに対する要求を伝え, イラストの作成を依頼した。

そして比較的高価格なイラストが扱われてきた。

また文書に, 適切に図や線などを用いることで可読性が高まるのが一般に知られており [1], イラストの需要は大きい [2]。しかしそれらのすべてがイラストレーターが作成する高価格なものを必要とするわけではない。たとえば個人商店や零細企業のチラシ, 地域コミュニティやNPOの広報紙などにおいては, Webサイトから無料で入手できるイラストを使用することも多い [3], [4], [5]。昨今このような無料イラストサイトが広まる一方で, それらのサイトで入手できる既存イラストには種類に限りがあり, 構図などの面で, クライアントが本当に欲しいイラストを得ることができるとは限らない。すなわち, イラストレーターと契約を結ぶことで入手できる高価格なイラストでもなく, 種類に限りのある無料で入手可能なイラストでもない, クライ

¹ 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library, Information and Media Studies,
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

² 筑波大学図書館情報メディア系
Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8550, Japan

a) ksasaki@slis.tsukuba.ac.jp

b) hirata@slis.tsukuba.ac.jp

c) inoue@slis.tsukuba.ac.jp

アントの要求を満たしつつも価格を抑えたイラストを入手する方法が現状ではない。

本研究では、そのようなクライアントの要求を満たしながらも、イラストレータと契約を結ぶようなコストがかからず、イラストの専門家が作成に携わることがなくてもイラストを作成できる手法を提案する。本手法では、描画能力にかかわらずどんな人でもイラストを作成できるプラットフォームが必要となる。また、作業員1人にイラスト作成の作業を託することは、その作業員に対して大きな負担をかけてしまうため避ける必要がある。

作業員の負担を軽減する方法として、本研究ではタスク全体を細分化して複数の作業員に提示するマイクロタスクの手法を用いる。マイクロタスクは通常多くの作業員を必要とするので、マイクロタスクを既存のクラウドソーシングサイトなどに登録することでタスクの遂行が可能となる。一方で、既存のクラウドソーシングにはコンペティション方式などでイラストを作成するタスクが多く存在する [6]。しかし本研究の狙いは、イラスト作成の技能によらず、どんな作業員でもタスクに従事できる手法を提案することであるため、もとよりイラストレータ向けに提示されているような既存のクラウドソーシングタスクと同様の手法を使うことはできない。

イラストを作成するためには通常、線画作成や彩色など、複数の工程を必要とする。そこで本研究では、イラストの土台となり被写体をかたどる「線画」が、そのまま1枚のイラストとなる「線画イラスト」の生成手法に着目した。また絵を描く、という行為の中でも模写に焦点を当て、どんな作業員でも線画イラストの作成が可能になる手法を用意する。模写では写真などの原図を忠実に書き写すことになるが、さらに作業の難易度を下げるために、原図をなぞる形で線を描くインタフェースを提示する。加えて1人あたりの作業負担を低く抑えるために、作業員1人分の作業時間を制限することで、1枚の線画イラストを作成するというタスクをマイクロタスク化する。本研究では、このマイクロタスクをクラウドソーシングにより実行する線画イラスト生成手法を提案する。

また、本手法の実現可能性を検証するために、線画イラストを実際に作成した実験についてを述べ、本手法によって線画イラストの生成が可能であることを示す。また、この実験を通じて観察された、本手法を用いることで生成される線画イラストの性質についても考察する。

2. 関連研究

2.1 複数のワーカによるタスクの実行と報酬の有無

マイクロタスク型のクラウドソーシングのプラットフォームを提供する既存のサービスとして Amazon Mechanical Turk (Mturk) [7] がある。Mturk では、マイクロタスクを提示する Requester とそのタスクを実行する Worker が存

在し、タスクを完了することで Worker が Requester から所定の報酬を貰い受ける。一方で、複数のユーザがボランティアとして参加する、分散コンピューティング技術を利用した SETI@home がある。ユーザはソフトウェアをダウンロードし、そのプログラムを実行させるだけで、従来スーパーコンピュータが解析してきたデータの一部の計算処理を行うことができる。1999 年から開始されたこのプロジェクトは、ユーザに対する報酬が小さいにもかかわらず、現在も稼働し続けている [8]。

ユーザがワーカとしてタスクを行う場合について、報酬の有無による違いを検討した報告がある。Mturk では、Requester がタスクを依頼するためには報酬を用意する必要があるが、その報酬は Worker 1 人につき、1 時間あたりおよそ 6 ドルと少ない [9], [10]。Martin らは、報酬は Worker にとって最も重要な要因と述べているが [11]、一方でマイクロタスクの体系によっては、報酬を用意する必要がない場合がある。Vaish らは報酬を支払わないクラウドソーシングとして Twitch と呼ばれるシステムを提案した。これはスマートフォンのアンロック画面において、ワーカもしくはその身の回りに関する情報を 4 枚から 6 枚のタイルから選択するという、数秒程度で終わるタスクを提示する。このシステムを用いた実験により、報酬を用意しなくてもごく短い時間で終了するタスクならば、ワーカに大きな負担をかけることなく情報を収集できることが明らかになった [12]。また Winter らは、報酬がワーカに与える影響は、作業の質ではなく作業量であるということ、報酬の有無が異なるタスクを用いた実験によって示している [13]。以上の知見は、ユーザがワーカとしてタスクを行う場合において、報酬が与えられないボランティアであってもクラウドソーシングなどのタスクを実行できる可能性を示している。

2.2 クラウドソーシングを利用した複雑なタスクの実行

マイクロタスク型クラウドソーシングでは一般に、画像のラベリングやデザインのリターンバックなどといった、単純で独立したタスクを行う場合が多い。Kittur らは、複雑で相互依存性のあるマイクロタスクを実行できるよう、分散コンピューティング技術の概念に基づき、タスクをサブタスクに分類したフレームワークを示した [14]。

このサブタスクの概念を利用したクラウドソーシングとして、Ambati らは 3 段階の翻訳ワークフローを提案した。1 段階目では、単語もしくは句の翻訳を行い、2 段階目では 1 段階目の結果から、翻訳する文の言語が非母語であるバイリンガルが翻訳を行う。そして 3 段階目で、2 段階目までの結果を見ながら、翻訳する文の言語が母語であるワーカが翻訳を行う。この 3 段階に分けた翻訳手法は、既存の手法よりコストを削減できたことを明らかにしている [15]。また、Soylent と呼ばれる文章作成アプリケーションでは、

文章を要求に応じてより短くしたり、校正したりすることができる。ユーザが入力し選択したテキストは、Mturkのワーカーに表示される。Mturkのワーカーははじめに、表示されたテキストの間違ひを見つける。その後、見つかった間違ひを含むテキストに対し、修正もしくは書き直しを行う。修正や書き直しの案はMturkのワーカーによって何例か提示され、さらに別のワーカーが、修正案の中で最も適切なものを選び、修正内容として適用する。Mturkのワーカーによって修正が適用され、変更された文章は、逐次ユーザの画面に表示される[16]。これらの研究は、マイクロタスク型クラウドソーシングが、独立した簡単なタスクだけでなく、規模が大きく相互依存性のあるタスクでも実行可能であることを示している。

2.3 クラウドソーシングにおける共同創作タスク

クラウドソーシングを用いて、複数のワーカーが共同で実行する創作タスクについての報告があがっている。Yuらは、ワーカーがデザイン案をスケッチし、スケッチ案どうしを組み合わせるという方法で新しいデザインを作成する手法を提案した。最初に1段階目として、提案システムのワーカーがデザイン案のスケッチを行い、作成されたスケッチをMturkのワーカーが評価する。次に2段階目として提案システムのワーカーは、評価された1段階目のデザイン案を組み合わせ、新しいデザイン案のスケッチを行う。2段階目のデザイン案もMturkのワーカーによって評価され、同様に3段階目もスケッチを行う。1段階目と3段階目のデザイン案を比較した結果、創造性とオリジナル性の面で、提案手法は有効であることが確かめられた[17]。

また、Kawashimaらはアメリカ合衆国の100ドル紙幣を1万人のクラウドワーカーによって再描画するタスクを実行した。この再描画タスクでは、100ドル紙幣を1万のエリアに分割し、Mturkで募集したワーカーが、割り当てられたエリアを専用のオンラインツールを用いて描画する。1万人のワーカーにはそれぞれ1セントが報酬として与えられた。またワーカーには、この描画タスクが100ドル紙幣を再描画するというタスクの一部であることを伝えなかったが、結果として100ドル紙幣の再描画は完成した[18], [19]。これらの研究は、クラウドソーシングで複数人が共同して創作タスクを実行できることを示している。

3. マイクロタスク型クラウドソーシングによる線画イラスト生成

3.1 提案手法

本論文で我々は1枚の写真(原図)から、線画イラストを生成するための手法を提案する。通常、線画を作成する際は物体の輪郭など、その画像を特徴づける線を描く。線を描くという行為自体は誰にでも行うことができ、また手本となる画像があれば何かしらの物体の輪郭線を描く行為

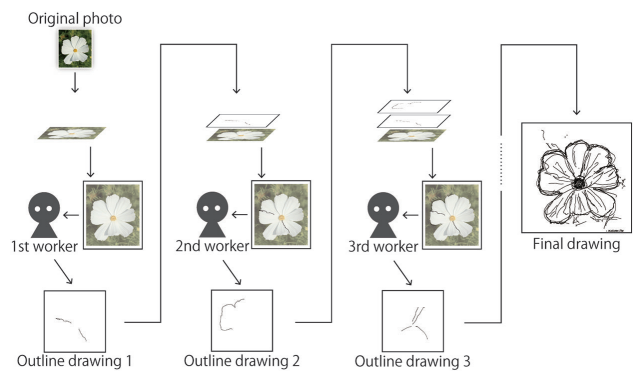


図 1 提案手法

Fig. 1 Method of generating a drawings.

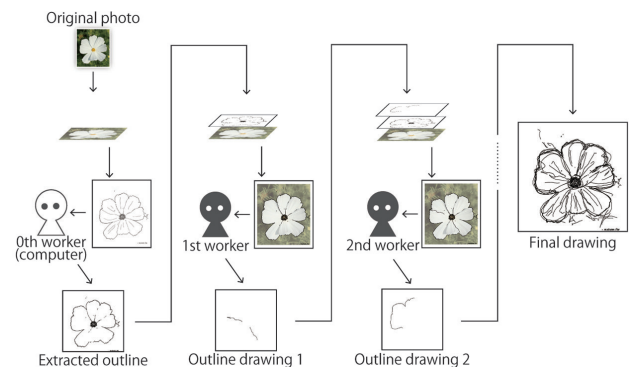


図 2 0 番目のワーカーを含めた作業の流れ

Fig. 2 Our method including the 0th worker.

も難しいものではない。そこで、この誰にでもできる線を描くという行為をマイクロタスクとして多数のワーカーに提示することで、クラウドソーシングによって写真から線画イラストを生成できると考える。この手法を実現するために、複数のワーカーの作業によって1枚の線画イラストを生成できる仕組みを考える必要がある。

提案手法の概念図を図1に示す。このマイクロタスクでは、ワーカー1人1人が描いた線画を重ね合わせていくことで、最終的に1枚の線画の完成を目指す。各ワーカーには原図と線を描く描画領域が重ねて提示される。そして1番目のワーカーから順に原図の輪郭線を模写するように線を描いていく。2番目以降のワーカーには、それまでのワーカーが描いてきた線がすべて原図に重ねられ、その様子を見ながら線画イラストとして不足している線を描き加えていく。この線を描き加える作業がマイクロタスクとしてワーカーに提示され、このタスクを多数のワーカーがこなすことで、最終的にすべての描画線を重ねて結合した画像が、原図の線画イラストとして完成する。

また、提案手法を改善するための、タスクの補助機能についても検討する。線画を描く作業をすべてワーカーに委ねて生成を開始してしまうと、膨大な作業量と人手を要する。そこで図2に示すように、コンピュータを0番目のワーカーと見なして原図に対し画像処理技術による輪郭抽出を行

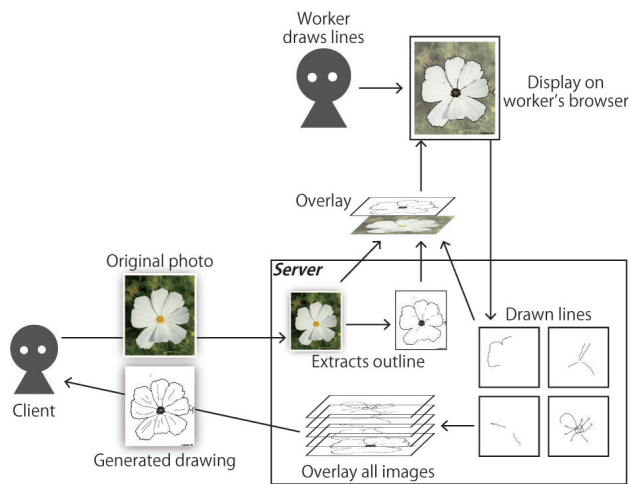


図3 システムの構成図
Fig. 3 System design.

い、抽出した線を0番目のワーカの描画線として原図に重ねて提示する。これにより、線を描画するワーカ数を削減できると見込まれる [20]。

3.2 システム設計

提案手法による線画イラスト生成システムの構成を図3に示す。まず、クライアントが線画イラスト化したい原図となる写真をシステムに登録する。ここで、システムが0番目のワーカとして輪郭線の自動抽出を試みる。その後、ワーカがマイクロタスクによって、線画イラストとして不十分な部位に加筆していく。ワーカが描き足した線は別々の画像としてシステムに保存されていくが、次のワーカにタスクを提示する際に、原図とそれまでのワーカの画像はすべて重ねて表示される。最終的にすべての描画線を重ねて結合することで線画イラストが完成する。

4. 実装

提案手法を Web ベースのシステムとして実装した。システム全体は次の4モジュールで構成されている。

- (1) 原図の受付
- (2) 輪郭の自動抽出
- (3) タスク提示
- (4) 生成画像の提供

モジュール(1)ではPHPを利用し、クライアントから原図を受付ける。アップロードされた画像は保存され、モジュール(2)へと引き渡される。

モジュール(2)ではPython、および画像認識ライブラリのOpenCVを用い、モジュール(1)から受け取った原図の輪郭を抽出する。抽出した画像は元画像と紐付けられ、ワーカへ提示される。

モジュール(3)ではPHPを用いてマイクロタスクを提示する。提示の際はHTML5のcanvas要素により、画像

が複数のレイヤに表示される。最下層にクライアントからアップロードされた原図を透明度50%で設置し、その上に輪郭を自動抽出した画像を、さらにその上にワーカが作成した画像を順に重ねる。ワーカが一番上のレイヤに線画を描く。そのため、ワーカは原図をなぞりつつ、かつそれまでのワーカが描いてきた線に加筆することで線を描画できる。描画機能はJavaScriptが提供する。またワーカが描画を終了後、その描画線を保存する。

モジュール(4)では、モジュール(3)までに作成された描画線をすべて重ね合わせ、PHPを用いて合成する。その後合成した画像をクライアントへ提示する。

5. 線画イラスト生成実験

本研究が提案するマイクロタスク型クラウドソーシングによる線画イラスト生成手法について、まず本手法を用いて線画イラストを完成できるかどうか、手法の実現可能性を確認する。さらに3.1節で述べたように、コンピュータによるタスクの補助機能の有効性を検証する。

5.1 マイクロタスクの時間の設定

本手法ではマイクロタスクを各ワーカに提示する。マイクロタスクでは、1人あたりの作業量は少なくする必要がある。本手法における作業量とは描画する線の総量、すなわち描画量となるが、描画量はその時点での線画イラストの完成度による変動が大きく、適切なタスク分割にならないと考えられる。そこで本手法のマイクロタスクでは、描画量ではなく描画時間を制約した。これを、ワーカが線を描き始めてから一定時間だけ入力可能とする形で実装した。

描画時間は次のような予備実験により決定した。本実験について事前知識を持たない筑波大学の大学生および大学院生である予備実験参加者4名(男性3名、女性1名)が、2秒から10秒まで描画時間を1秒単位で変更しながら、10枚の線画の生成作業を試行した。その後、マイクロタスクの作業として負担を感じず、かつ何がしかの線を描くだけの余裕があることを考慮し、線の描画に最適と考える時間を尋ねた。その結果、参加者全員が最適と考えた秒数の平均は6.8秒(標準偏差1.3秒)であったため、1タスクの所要時間を7秒とした。

5.2 条件の設定

本手法の実現可能性を検討するために、コンピュータによる原図の輪郭抽出がないシステムを用い、1番目のワーカから線画の描画を始めるタスクを用意する。このタスクを実施することで、複数人のワーカによって1枚の線画イラストが完成することを確認する。また、タスクの補助機能の有効性を検証するために、コンピュータによる輪郭抽出を用いて、0番目のワーカから線画の生成を始めるタスクも用意する。コンピュータによる原図の輪郭抽出がない

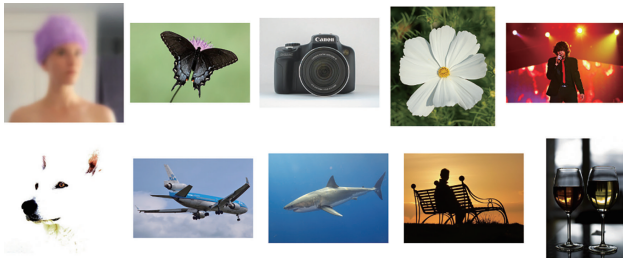


図 4 実験で使った画像
Fig. 4 Photos used at the experience.



図 5 実験の様子
Fig. 5 Worker in the experiment.

場合と、輪郭抽出がある場合を比較することで、タスク補助機能の有効性を検討できる。

以上より、線画イラストの生成実験では、コンピュータによる輪郭抽出のない「輪郭抽出なし条件」と、輪郭抽出のある「輪郭抽出あり条件」の2条件について実験を行った。また、ともに原図として使用した画像は図4に示す10枚である。これらは、輪郭がはっきりと読み取れるものと読み取れないものの両方を含み、また被写体や構図も多様であるように選定した。

5.3 参加者と実験環境

線画イラスト生成実験は、5.1節における予備実験に参加しておらず、本実験について事前知識を持たない筑波大学の大学生、大学院生、および教職員に対して、大学構内で参加者を募った。輪郭抽出なし条件では27名（男性20名、女性7名）、輪郭抽出あり条件では29名（男性25名、女性4名）がワーカとして実験に参加し、条件間で参加者の重複はなかった。また参加者への報酬はなかった。

また入力インターフェースとしてWacom社製ペンタブレット（CTE-650、描画範囲約14×22cm）を、ページ表示用PCとしてVAIO Pro 11（表示領域11.5inch、表示解像度1,920×1,080px）を使用した。また図5のように、実験では全員椅子に着席し、PCおよびペンタブレットを机に設置した状態で実施した。なお、入力インターフェースにペンタブレットを使用したのは、線画を描くというタスクにおいて、直感的な操作が可能であると判断したためで



図 6 (左) システムの説明・練習ページ/(右) ワーカに提示される画面

Fig. 6 Left: web page of the instruction. Right: display on worker's browser.

ある。ペンタブレットを触ったことがない実験参加者に配慮して、実験開始前には十分にペンタブレットを用いた描画の練習を行った。

5.4 手続き

実験開始前に図6左に示す、説明用のページを参加者に提示した。この画面を表示しながら、参加者に次の内容を説明した。

- これから10枚の写真の模写を行ってもらうこと。また完成図として、説明ページ左に示される写真のような模写を目指すこと
- 1枚の写真から線画を描く際、7秒の制限時間があること。またこの制限時間を過ぎると線を描くことができなくなるということ
- 写真の一部のみを描画すればよく、急ぐ必要はないこと
- 線を描く前に、提示された画像が線画イラストとして完成されていると判断した場合、実験画面（図6右）中の「これで完成!」ボタンを押すこと

また説明時に、参加者はシステムを用いて線を描く練習を同ページで行った。ここでペンタブレットの操作感、およびシステム上での描画の感覚に慣れた後、実際のタスクに移行した。

図7は実験において1人の参加者が取り組むタスクのフローチャートである。1枚ずつランダムな順に図4に示した画像が提示され、参加者は線を描くか、「これで完成!」ボタンを押すかした。

本実験では、提案手法の可能性と限界を知るうえで重要な、原図の違いによる生成されるイラストの違いや生成の可否について検証を行う。また提案手法を補助する手法として、コンピュータによる原図の輪郭抽出の利用可能性を検討しており、この機能の有無の比較を行う。以上の目的を達成するため、原図の種類間での参加者の参加順序は変更していない。

また、10枚すべての画像の描画終了後、参加者に対しコメントを聴取した。

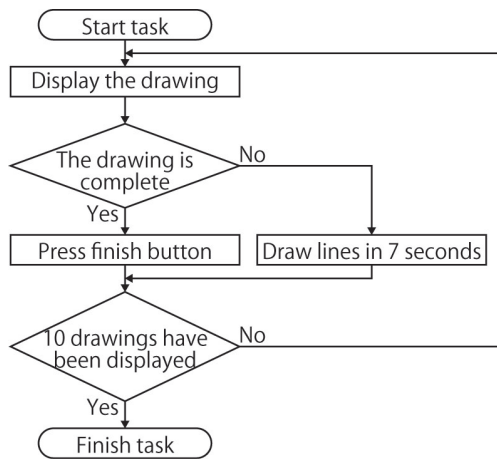


図 7 実験タスクのフローチャート
Fig. 7 Flowchart of the task.

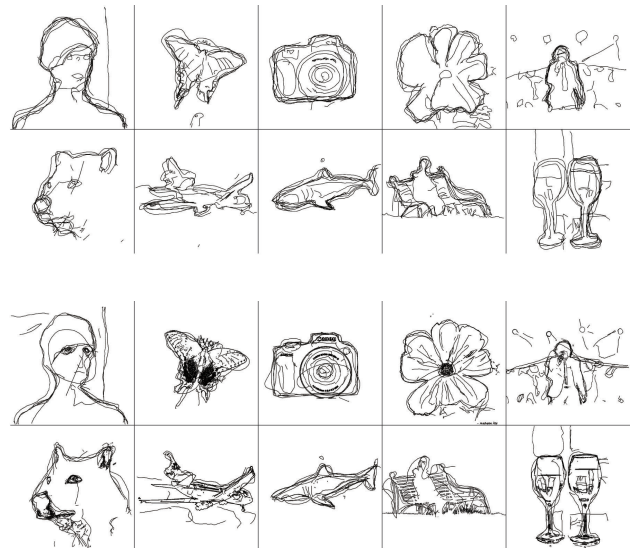


図 8 完成と判断された線画イラスト
(上：輪郭抽出なし条件，下：輪郭抽出あり条件)

Fig. 8 Generated drawings; above is non-extract condition, below is extract condition.

5.5 完成画像の選定

実験終了後に、予備実験および線画イラスト生成実験に参加しておらず、また本研究の事前知識を持たない筑波大学の大学生および大学院生 5 名（男性 3 名，女性 2 名）が、実験で描画されたすべての画像を見ながら、完成画像を選定した。判断は 5 名が独立で行い、完成画像が何回目に描画されたものかを確認した。その回数の平均値 n （小数点を四捨五入）を算出し、 n 回目に描画された画像を完成画像とした。なお、5.4 節に記したように、実験参加者も提示された線画イラストについて完成か否かの判断をしたが、これは生成過程におけるものであるため、別途このような判断をさせた。

6. 結果

6.1 描画結果

輪郭抽出なし条件と輪郭抽出あり条件のそれぞれで、各ワーカが各原図に対してどのような線を描画したかを、図 9 に示す。また、これらを重ね合わせ、線画イラストが生成されてゆく過程を図 10 に示す。それぞれ、左の列に原図を示し、右側の描画線は左上から右下に向かって順に並べた。画像によって枚数が異なるのは、ワーカが描画を行わず「これで完成!」ボタンを押し、線画が完成したと判断した場合が含まれるためである。

6.2 完成画像

図 8 に、各条件における各原図の線画について、5.5 節で述べた判断者 5 名によって完成と判断された画像を示す。以下に完成と判断された線画イラストについて、5 名の平均値と標準偏差を示す。

輪郭抽出なし条件では 17 回 (3.0), 19 回 (1.8), 17 回 (3.6), 20 回 (3.9), 20 回 (2.4), 19 回 (3.2), 18 回 (2.7), 16 回 (3.0), 18 回 (4.9), 20 回 (3.1), 輪郭抽出あり条件では初めにコンピュータによって抽出された画像を 0 回目

として 20 回 (1.6), 8 回 (4.2), 15 回 (7.3), 16 回 (5.3), 21 回 (6.4), 18 回 (4.5), 14 回 (2.5), 18 回 (3.9), 11 回 (7.1), 17 回 (7.9) であった。これらの完成画像は図 9 および図 10 の赤枠の画像である。

ばらつきはあるものの、平均して輪郭抽出なし条件ではおよそ 18 回、輪郭抽出あり条件ではおよそ 16 回の描画が行われたときに、線画が完成したと判断された。つまり輪郭抽出なし条件の方が、輪郭抽出あり条件よりも完成と判断された画像の描画回数が多い。

また描画結果から、コンピュータによる輪郭抽出がない場合も、また図 4 のぼやけた人の写真のようにコンピュータによる画像処理技術による輪郭の抽出がうまく行えなかった場合も、生成が進むにつれて輪郭線が描かれる様子が見られる。これにより、コンピュータによる輪郭抽出の成否によらず、この手法を用いることで 1 枚の写真画像から線画の生成は十分可能であることが分かる。

7. 考察

7.1 タスク補助機能の有効性

タスク補助機能の有効性について検討するために、コンピュータによる輪郭抽出の有無が、線画イラスト生成にどのように影響を及ぼしたかを検討する。まず 6.2 節から、輪郭抽出なし条件と輪郭抽出あり条件で、完成までに要した描画の平均回数に差が見られた。また、10 枚の画像中 7 枚について、完成までに要した描画の回数が、輪郭抽出あり条件の方が少なかった。この結果から、タスクの補助機能は、完成までに必要な描画の回数を削減できる可能性があることが示唆される。ただし、線画イラストを描くのが上手なワーカが一方の条件に偏っている可能性を考慮する

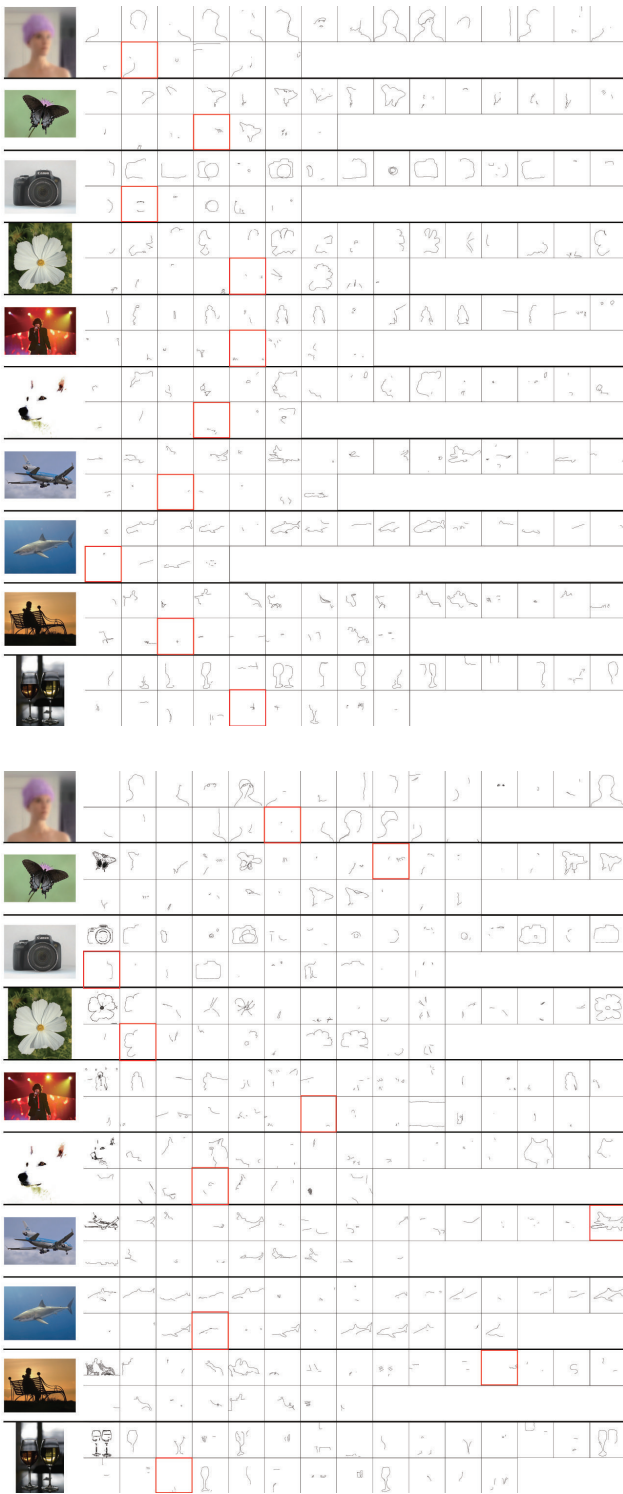


図 9 各ワーカーの描画内容 (上：輪郭抽出なし条件, 下：輪郭抽出あり条件)：赤枠は判断者によって完成と判断された画像を示す
 Fig. 9 Drawn lines by workers; above is non-extract condition, below is extract condition. Red frames show the complete images decided by judges.

と、試行数を増やすなど、より詳細な検討が望ましい。
 また図 8 を見ると、輪郭抽出がある場合の方が、ワーカーによって描かれた線のうち揺らいだ線が少ないように見える。このことは、輪郭抽出によって提示された原図に対

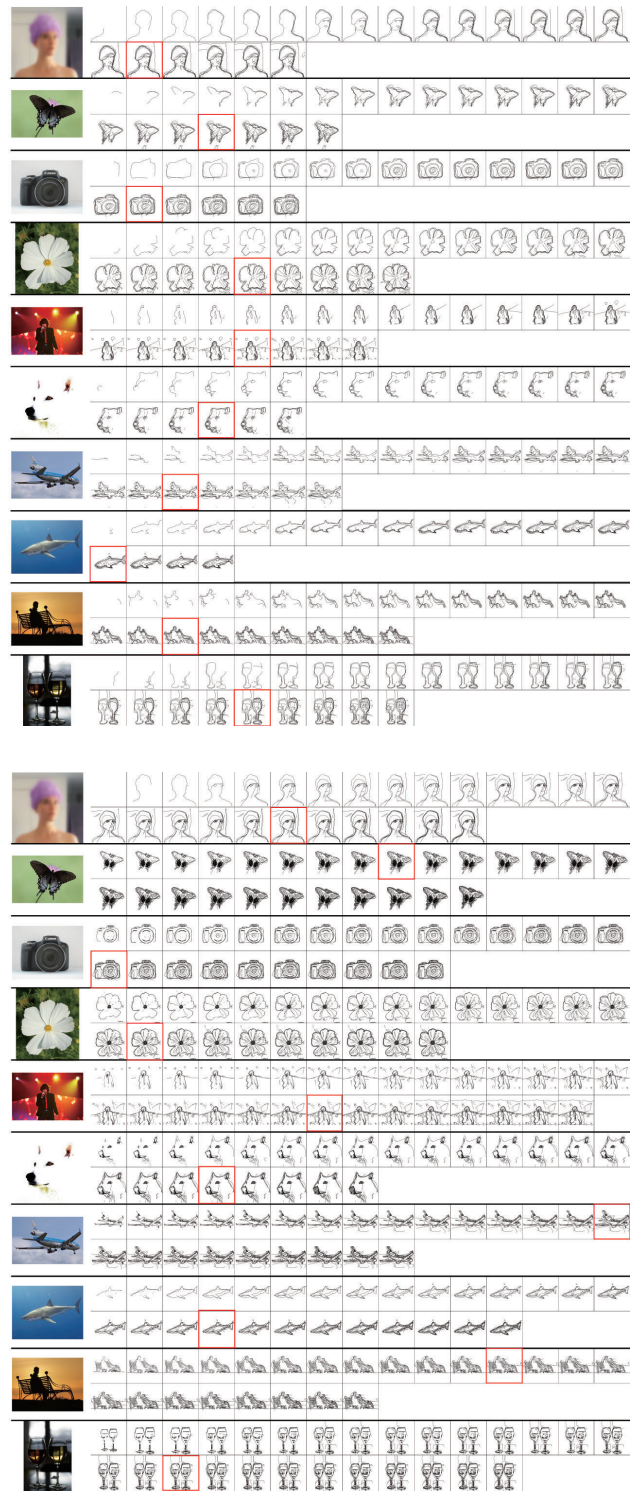


図 10 線画イラストの生成過程 (上：輪郭抽出なし条件, 下：輪郭抽出あり条件)：赤枠は判断者によって完成と判断された画像を示す
 Fig. 10 Process of generating drawings; above is non-extract condition, below is extract condition. Red frames show the complete images decided by judges.

してより忠実な線画を描くことができる可能性を示している。このように原図を模写するとき、描画線をより原図に近づける手法は他にも提案されている [21], [22]。逆に抽出画像がない場合、原図に対して生成される線画の忠実さ

が低下するが、その分生成される線画のバリエーションを増加させることが期待できる。今後の課題としては、原図をなぞるようなインタフェースだけではなく、描画領域の隣に原図を表示するインタフェースではどのような線画が生成されるかを調査することを考えている。

7.2 ペンタブレットについて

線画イラストの生成実験では、ワーカの入力インタフェースとしてペンタブレットを使用した。これは 5.3 節で述べたように、専用のペンを持ってタブレットに描くという行為が、実際に紙とペンを用いて絵を描く行為に似ており、より直感的にタスクを行うことができると判断したためである。しかし実際は、両条件合わせて 56 名の実験参加者のうち 41 名がこの実験までにペンタブレットを触った経験がなかった。また本研究で提案する手法においては、絵を描くスキルがないワーカでもタスクを行えるようにするのが 1 つの狙いであり、そのようなワーカがペンタブレットを保有しているとは限らない。しかし今回の実験では、タスク開始前に十分な練習時間を設けたため、ペンタブレットの操作不慣れによる、実験結果への影響はなかったと考える。

7.3 マイクロタスクの時間制限の効果

本研究では、線画イラストを生成するためのマイクロタスクは、1 人あたり 7 秒が最適な時間と判断し、実験では 1 タスクあたり 7 秒の時間制限を設けて線の描画を行った。結果として、1 名の実験参加者を除き、7 秒という時間制限に何かしらの不満を覚えた参加者はいなかった。このため、マイクロタスクの時間設定は適切であったと考える。なお、7 秒という短い制限時間を設けることで、線画イラストの作成という難しいタスクが行いやすくなる効果を期待していたが、これに関するコメントを実験参加者から得ることはできなかった。

7.4 タスクの実行結果の質と不真面目なクラウドワーカへの対応

タスクの実行結果の質について Kittur らおよび Sampath らは、より作業者が質の高い仕事をこなすためのタスクデザインのある方を提案した。Kittur らはタスクで提示した要求をより正確にこなしていることを確認する質問を用意することで [23]、Sampath らはタスクにおけるユーザインタフェースをより視覚的に認知しやすくするよう工夫することで、それぞれタスクの質が向上しうることを明らかにした [24]。さらに Huang らは Noun counting task を通じ、作業者同士の名前や性別、国籍といった個人情報を公開し、作業者同士のインタラクションがある場合の方が、ない場合に比べ質の高い作業結果が生じることを明らかにした [25]。

特に本研究が提案する手法では、ワーカの中に 1 人でも不真面目なワーカが存在すると、生成される線画の質が大きく低下してしまうおそれがある。しかしこれらの知見から、そのような不真面目なワーカにも対応することができると考えられる。たとえば、タスクの前後に Kittur らの示唆に則って、手本となる簡単な線をなぞるようにして描画する予備タスクを実施する。このとき、その線があまりにも手本の線から逸脱していたり、描画速度が速すぎたりした場合は、実際の線画イラスト生成タスクにおいてもそのような線を描く可能性が高くなるため、そのようなワーカが描いた線は保存しないようにする手法をとることができる。この場合、不真面目なワーカのほか、真面目にタスクに取り組もうとしているワーカに対しても、そのワーカのタスクの実行環境などにより正確な線を描けない場合は、描画結果が保存されないことになる。しかしこれは、生成される線画イラストの質を向上させるという点において有用である。また Sampath らの知見から、線画として不足している部分をシステムが判断し、その場所をワーカに提示することで、ワーカが描くべき線の場所を容易に把握できるようにする方法も考えられる。適切な箇所に線を描画することで、線画イラストの質を高めることができると考えられる。Huang らの知見からは、個人を特定できない程度の情報をあらかじめタスク開始前に登録してもらうことで、それまで線画の作成に携わってきたワーカの情報をシステムが表示し、作業の質を高める可能性がある。いずれも線画の質を向上させ、かつ同時に不真面目なワーカを排除することが可能になると考えられるが、これらの施策がどの程度作業に影響を及ぼすかは検討課題である。

7.5 実用イラスト生成に向けて

本論文の意義は、実用イラストの生成ではなく、クラウドソーシングによるイラスト生成のための基礎的手法を提案した点にある。そしてその提案手法によって、その質には改善の余地はあるものの実際に線画イラストが生成できることを示した点にある。

したがって、本実験で得られた線画イラストは多くの細かい線が重なったものが多く、一般に提供されている明瞭な輪郭線を持つ実用イラストやカラーイラストと異なる。本研究は、提案手法を核としつつ、このような実用イラストの生成を目標とするが、そのためには提案手法に加えて様々な工夫を追加、組み合わせることが必要であり、これらは今後進める予定である。具体的には、今後実用レベルのイラストを生成するために次の事項を検討している。イラストをカラー化するためには彩色タスクが必要である。この彩色タスクは提案手法と同様にマイクロタスク化することで実現可能と考えている。現在の線画イラストでは細かい描線が数多く見られるため、これに画像処理を施すことにより、明瞭で主要な線だけによるイラストに変換する

ことを考えている。なお一方で、絵コンテやラフ画、下描きなどに使われるような、必ずしも精密な線を必要としない線画イラストも存在し、これらについては今回生成されたような線画イラストをそのまま用いることも可能と思われる。

線画イラストの完成判断については、別のクラウドワークによってイラストの完成判断をするマイクロタスクを実行することが考えられる。

7.6 本手法を用いることによるコストの削減

1章で述べたように、本手法を用いることで、従来イラストを作成する方法に比べ、金銭的、または時間的、作業負荷的なコストを削減できると考える。雑誌などで用いられるカットイラストでは、イラストレータに作成を依頼する場合、モノクロのイラストでおよそ三千円から一万円の金額がかかるといわれている [2]。一方で本手法のようにマイクロタスクをクラウドソーシングにより実行する場合、仮に Mturk でタスクを依頼する場合と同等の金銭コストがかかるとした場合、ワーカー 1 人に対して 1 時間 6 ドル程度報酬として支払うことになる [9], [10]。本手法におけるワーカーの拘束時間を 1 タスクあたり 1 分と仮定すると、金銭コストは 1 タスクあたりワーカー 1 人につき 0.10 ドルとなる。また、今後システムの拡張が進み、1 枚の線画イラストを生成するために複数のマイクロタスクを挟むことになっても、ワーカー 1 人あたり支払う報酬額が 0.10 ドル程度ならば、金銭コストは本手法の方が、イラストレータに作成を依頼する場合に比べて低くなると見込まれる。一方で、時間的および作業負荷的なコストに関しても、マイクロタスクでは 1 回あたりの作業量は数十秒で済む。また、本手法では誰でも線画イラストの生成に参加できるため、作業負荷も、一般的に 1 人でイラストを作成する場合と比べると低いと考えられる。

しかし既存のイラスト作成手法では、イラストレータが時間をかけてイラストを作成し、高品質なイラストを提供する。それに対して現状、本手法で生成できる線画イラストは、実験結果から見られるように、線が歪であったり無駄な線があったりするなど、生成される線画イラストの質が異なる。この完成とされる線画イラストの質に差がある以上、一概に各種コストが低いから良い、と述べることはできない。現状では、本手法の特徴に合った線画イラストのニーズを見つけることで、従来手法よりコストが低い本手法を生かすことができると考えられる。

8. まとめ

本研究では、マイクロタスク型クラウドソーシングによって、イラスト、特に線画イラストを生成する手法を提案した。本手法では描画能力を問わない多数のワーカーが少しずつ線を描画していくことで、1 枚の写真から線画を生

成する。手法の実現性を実験的に検討したところ、線画作成を時間によってマイクロタスク化しても、一般的な線画であれば生成可能であることが示された。特にコンピュータによる原図の輪郭抽出がない場合は、輪郭抽出がある場合に比べ、完成までに要する描画の回数が増える可能性が示された。また輪郭抽出がない場合、生成される線画の線に揺らぎが多く、生成される画像のバリエーションを増加させる可能性があることが分かった。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 26330218 の支援により行われた。

参考文献

- [1] Patterson, D.: Technical writing: lines & spots, *SIGDOC Asterisk J. Comput. Doc.*, Vol.2, No.10, pp.8–10 (1976).
- [2] 株式会社クラウドワークス：相場や需要を押えよう！イラスト業のモノクロとカラーの挿絵の料金, 入手先 (<http://crowdworks.jp/public/jobs/category/27/articles/8754>).
- [3] 無料イラストなら「イラスト AC」, 入手先 (<http://www.ac-illust.com/>).
- [4] イラスト無料素材 イラストボックス, 入手先 (<http://www.illust-box.jp/>).
- [5] 小学校の広報で使える、無料のイラストを教えてください。入学おめでとう... - Yahoo!知恵袋, 入手先 (http://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question_detail/q111107922591).
- [6] イラスト作成のコンペなら 1 万で 30 案集まる【クラウドワークス】, 入手先 (<http://crowdworks.jp/public/jobs/category/27>).
- [7] Amazon Mechanical Turk, available from (<https://www.mturk.com>).
- [8] SETI@home, available from (<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>).
- [9] Salehi, N., Irani, L.C., Bernstein, M.S., Alkhatib, A., Ogbe, E., Milland, K. and Clickhappier: We Are Dynamo: Overcoming Stalling and Friction in Collective Action for Crowd Workers, *Proc. 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1621–1630 (2015).
- [10] Fair payment – WeAreDynamo Wiki, available from (http://wiki.wearedynamo.org/index.php?title=Fair_payment).
- [11] Martin, D., Hanrahan, B.V., O’Neill, J. and Gupta, N.: Being a turker, *Proc. 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, pp.224–235 (2014).
- [12] Vaish, R., Wyngarden, K., Chen, J., Cheung, B. and Bernstein, M.S.: Twitch Crowdsourcing: Crowd Contribution in Short Bursts of Time, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.3645–3654 (2014).
- [13] Winter, M. and Duncan, J.W.: Financial Incentives and the “Performance of Crowds”, *SIGKDD Explor. Newsl.*, Vol.11, No.2, pp.100–108 (2009).
- [14] Kittur, A., Smus, B., Khamkar, S. and Kraut, R.E.: CrowdForge: crowdsourcing complex work, *Proc. 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.43–52 (2011).
- [15] Ambati, V., Vogel, S. and Carbonell, J.: Collabora-

- tive workflow for crowdsourcing translation, *Proc. ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp.1191–1194 (2012).
- [16] Bernstein, M.S., Little, G., Miller, R.C., Hartmann, B., Ackerman, M.S., Karger, D.R., Crowell, D. and Panovich, K.: SoyLent: A word processor with a crowd inside, *Proc. 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.313–322 (2010).
- [17] Yu, L. and Nickerson, J.V.: An internet-scale idea generation system, *ACM Trans. Interact. Intell. Syst.*, Vol.3, No.1, pp.2:1–2:24 (2013).
- [18] Kawashima, T. and Koblin, A.: Ten Thousand Cents, *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Artgallery: Emerging Technologies*, p.18 (2008).
- [19] Ten Thousand Cents, available from (<http://www.tenthousandcents.com/>).
- [20] Sasaki, K., Hirata, A. and Inoue, T.: Method of Generating a Drawing by Crowdsourced Microtasks, *Proc. 18th ACM Conference Companion on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, pp.61–64 (2015).
- [21] Lee, Y.J., Zitnick, C.L., Cohen, M.F.: ShadowDraw: real-time user guidance for freehand drawing, *Proc. ACM SIGGRAPH 2011*, Vol.30, No.4, Article No.27, pp.27:1–27:10 (2011).
- [22] Limpaecher, A., Feltman, N., Treuille, A. and Cohen, M.: Real-time drawing assistance through crowdsourcing, *Proc. ACM SIGGRAPH 2013*, Vol.32, No.4, Article No.54, pp.54:1–54:10 (2013).
- [23] Kittur, A., Chi, E.H. and Suh, B.: Crowdsourcing User Studies With Mechanical Turk, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.453–456 (2008).
- [24] Sampath, H.A., Rajeshuni, R. and Indurkha, B.: Cognitively Inspired Task Design to Improve User Performance on Crowdsourcing Platforms, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.3665–3674 (2014).
- [25] Huang, S.-W. and Fu, W.T.: Don't hide in the crowd!: increasing social transparency between peer workers improves crowdsourcing outcomes, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.621–630 (2013).



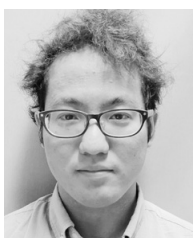
井上 智雄 (正会員)

筑波大学図書館情報メディア系教授。博士(工学)。専門は CSCW, HCI, 教育工学。情報処理学会論文賞, 同学会活動貢献賞, 同山下記念研究賞, ほか多数受賞。情報処理学会論文誌編集主査, 情報処理学会論文誌: デジタルコンテンツ編集幹事, 情報処理学会グループウェアとネットワーク研究会幹事, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会幹事, ACM CSCW Papers Associate Chair, IEEE TC CSCWD 委員, APSCE SIG CUMTEL 委員等歴任。『アイデア発想法と協同作業支援』(共立出版), 『Communication and Collaboration Support Systems』(IOS Press) 等執筆。本会シニア会員。



佐々木 孝輔 (学生会員)

筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士前期課程在学中。クラウドソーシングを用いたデジタルコンテンツ生成手法の研究に従事。



平田 章 (学生会員)

筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士前期課程在学中。クラウドソーシングを用いたデジタルコンテンツ生成手法の研究に従事。