

RGB 値制御による Android 端末のディスプレイにおける消費電力の低減

坂本寛和^{†1} 中村優太^{†1} 野村駿^{†1}
濱中真太郎^{†2} 山口実靖^{†2}

スマートフォンやタブレット PC の急速な普及により, その基盤ソフトウェアである Android の重要性が高まり, Android 端末の消費電力の大きさに注目が集まっている. スマートフォンに搭載されている装置の中で消費電力が大きい装置として, ディスプレイ, 通信デバイス, CPU が上げられ, この中でも特にディスプレイによる消費電力が大きい. 本研究ではディスプレイによる消費電力に着目し, ディスプレイ表示内容の RGB 値を変更させることにより消費電力を抑える手法を提案し, その評価を行う. ディスプレイは RGB 値の制御により消費電力が変化するものを対象とし, たとえば有機 EL ディスプレイがこれに該当する. 通常, ディスプレイによる消費電力を低減させるにはスマートフォンに搭載されている明るさ調整機能を用いてディスプレイ全体の明るさを下げて消費電力を低減させるが, 提案手法では表示内容の RGB 値を減少させ消費電力を低減させる. 通常手法と提案手法で消費電力の低減を行いその消費電力を評価したところ, 提案手法においても通常手法と同等の消費電力の低減をできることが確認できた. また, 消費電力が同一の状態通常手法と提案手法の見やすさを主観により評価した結果, 提案手法の方が高い評価を得ることができ, 提案手法は通常的手法よりも高い見やすさで省電力が可能であることが確認された.

Saving Display Power Consumption in Android Terminals by controlling RGB

HIROKAZU SAKAMOTO^{†1} YUTA NAKAMURA^{†1} SHUN NOMURA^{†1}
SHINTARO HAMANAKA^{†2} SANEYASU YAMAGUCHI^{†2}

1. はじめに

近年, スマートフォンやタブレット PC が普及し, それらの携帯端末で動作する組み込み機器ソフトウェアプラットフォームの Android OS が注目を集めている. 2013 年の第 3 四半期における Android OS の世界のスマートフォン OS でのシェアは 81.9%であり[1], その重要性はとて高まっている. Android OS 搭載端末をはじめとするスマートフォンの課題の一つにその消費電力の大きさがあり, スマートフォンユーザへの不満点の意識調査においてはバッテリーの持ち時間が最大の不満点となっている[2]. 消費電力が大きい部分としては, ディスプレイ, 通信デバイス, CPU などが上げられ, 特にディスプレイによる消費電力が大きい[3]. ディスプレイによる消費電力を削減させるための手法として, 一定時間無操作である場合に自動的にディスプレイ全体の表示をオフにする機能や, ディスプレイ全体の明るさを暗くする機能が多くの端末に用意されている. しかし, これらのディスプレイ全体を统一的にオフとするあるいは暗くする手法を過度に用いるとユーザの利便性を損なう恐れがあり(例えば, ユーザが閲覧中であるにもかかわらずディスプレイ表示がオフとなったり, 過度に暗くなり文字が読みづらくなるなど), 効果に限界があると考えられる. よってさらなる省電力化を実現するにはディスプレイ

全体を统一的に制御するのではなく, 部分ごとやピクセルごとに制御するなどの工夫が必要になると考えることができる.

本研究では, ディスプレイのピクセル単位で制御を行い省電力化を行う手法について考察する. 具体的には, ディスプレイ表示の RGB 値の変更により消費電力が変化するディスプレイを想定し, ディスプレイの RGB 値を変更させることにより消費電力を抑える手法を提案する.

本論文構成は以下の通りである. 2 章で Android 端末のディスプレイと色変換方法について説明する. 3 章ではディスプレイの表示内容(RGB 値)や明るさ調整と, 照度や消費電力の関係の基礎調査結果について述べる. 4 章では, RGB 値制御による Android 端末の省電力手法と HSV 表現における Value 値の制御による省電力手法の 2 つの手法を提案する. 5 章では提案手法を端末に実装し, 通常手法と提案手法の性能比較を行う. 6 章で関連研究の紹介を行い, まとめと今後の課題を 7 章で述べる.

2. Android 端末のディスプレイと色変換

2.1 Android 端末のディスプレイ

現在 Android 端末では, 主に液晶ディスプレイ(LCD)と有機 EL ディスプレイが使用されている.

有機 EL ディスプレイでは, 3 色(赤, 緑, 青)の LED を利用してフルカラーの色を表現している. ピクセル毎に赤, 緑, 青の各色の LED を配置し, ピクセル毎に LED が光る強さを調整しさまざまな色を表現させている. 白色の場合,

^{†1} 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻
Electrical Engineering and Electronics, Kogakuin University Graduate School

^{†2} 工学院大学 工学部 情報通信工学科
Department of information and Communications Engineering, Kogakuin University

全てのLEDを強く発光させるため消費電力が大きくなる。逆に黒色の場合は消費電力は少なくなる。すなわち、RGB値が大きいくほど消費電力が大きくなる。前述の通り本研究ではRGB値の制御により消費電力が変わるディスプレイを想定しており、有機ELディスプレイがこれに該当する。

2.2 HSV色空間と変換方法

HSV色空間は色相(hue)、彩度(Saturation)、明度(Value)の三つの成分で構成される色空間である。色相は色の種類を表しており、彩度は色の鮮やかさを現しており、明度は色の明るさを表している。

RGB値からHSV値への変換は以下の式(1)~(3)を用いて行うことができる[4].

$$\left. \begin{aligned} H &= \text{undefined} && \text{if } MIN = MAX \\ H &= 60 \times \frac{G-R}{MAX-MIN} + 60 && \text{if } MIN = B \\ H &= 60 \times \frac{B-G}{MAX-MIN} + 180 && \text{if } MIN = R \\ H &= 60 \times \frac{R-B}{MAX-MIN} + 360 && \text{if } MIN = G \end{aligned} \right) \quad (1)$$

$$V = MAX \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} S &= 0 && \text{if } MAX = 0 \\ S &= 255 \times \frac{MAX-MIN}{MAX} && \text{elses} \end{aligned} \right) \quad (3)$$

また、HSV値は以下の式(4)~(9)を用いてRGB値に変換することができる[5].

$$H_i = \left\lfloor \frac{H}{60} \right\rfloor \quad (4)$$

$$F = \frac{H}{60} - H_i \quad (5)$$

$$M = V \times \left(1 - \frac{S}{255}\right) \quad (6)$$

$$N = V \times \left(1 - \frac{S}{255} \times F\right) \quad (7)$$

$$K = V \times \left(1 - \frac{S}{255} \times (1 - F)\right) \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} R &= V, G = K, B = M && \text{if } H_i == 0 \\ R &= N, G = V, B = M && \text{if } H_i == 1 \\ R &= M, G = V, B = K && \text{if } H_i == 2 \\ R &= M, G = N, B = V && \text{if } H_i == 3 \\ R &= K, G = M, B = V && \text{if } H_i == 4 \\ R &= V, G = M, B = N && \text{if } H_i == 5 \end{aligned} \right) \quad (9)$$

ただし、式(4)の[x]は、xの小数部分の切り捨てを意味している。

3. 基礎性能調査

本章では、Androidスマートフォンにおけるディスプレイ表示内容(RGB値)、明るさ調節値(端末備え付けの明るさ調整機能における調整値)と、消費電力、照度の関係について述べる。

3.1 測定環境

測定は表1のスマートフォンを用いて行った。明るさ調

整はAndroid OS標準の明るさ調整機能(設定→ディスプレイ→画面の明るさ)により行った。明るさ調整値は0%から100%である。

表1 測定環境

	CPU	Memory	OS	ディスプレイ
NexusS	Samsung Hummingbird S5PC110 [1GHz]	512 [MB]	Android 4.0.3	Super AMOLED (有機EL)

本稿の計測では、電圧は一定であると仮定し、「電流」と「単位時間当たりの消費電力」が比例すると考え、電流の測定をもって単位時間当たりの消費電力の測定とした。すべての測定は満充電の状態で行った。

照度は、照度計(sanwa mobiken ILLUMINANCE METER LX2)を用いて調査した。照度測定は受光部をディスプレイの中心部に接触させて固定して行い、明るさが0.00[lx]室内で行った。

3.2 明るさ調整の評価

本節において、端末の明るさ調整と電流、照度の関係について述べる。

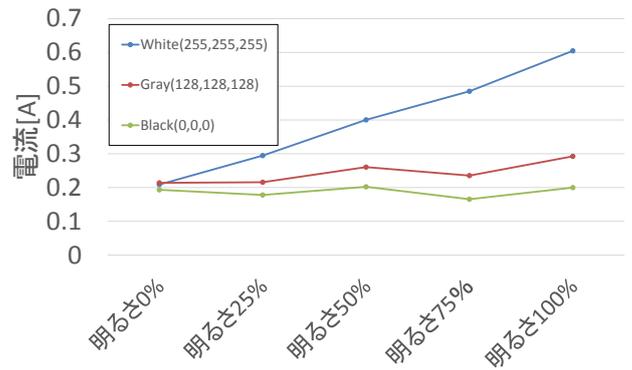


図1. 明るさ調整値と電流の関係(白黒発光)

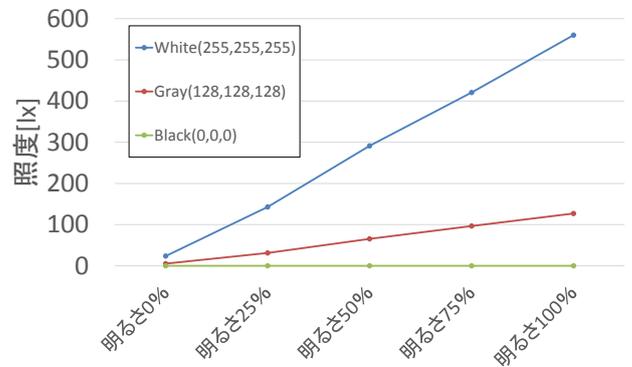


図2. 明るさ調整値と照度の関係(白黒発光)

明るさ調整値と電流の関係の調査結果を図1に、明るさ

調整と照度の関係の調査結果を図 2 に示す。図内の White(255, 255, 255)はディスプレイの全ピクセルの表示内容を RGB=(255, 255, 255)としたときの明るさ調整と電流関係を表しており、同様に図内の Gray(128, 128, 128)はディスプレイの全ピクセルを RGB=(128, 128, 128)としたとき、Black(0, 0, 0)は全ピクセルを RGB=(0, 0, 0)としたときの関係を表している。図 2 より、明るさ調整値と照度はほぼ比例の関係にあることが分かる。また図 1 より、明るさ調整値と電流は 1 次関数の関係にあり、約 0.2[A]をベースラインと考えれば「明るさ調整値」と「電流のベースラインから増分」はほぼ比例の関係にあることが分かる。

以上より本端末において明るさ調整値と出力の照度や消費エネルギー(電流)はほぼ比例していることが分かる。

3.3 原色ごとの評価

本節でディスプレイ出力の色(発光する LED の種類)と電流、照度の関係について述べる。

赤色のみ発光した状態における色(RGB 値)と電流、照度の関係を図 3, 4 の“Red”に示す。図 3, 4 の横軸の値は RGB の R の値であり、例えば横軸の値が 192 であればディスプレイの全ピクセルが RGB=(192, 0, 0)の状態にある。同様に緑色のみ発光した状態における色(RGB 値)と電流、照度の関係を図 3, 4 の“Green”に、青色のみ発光における関係を“Blue”に示す。

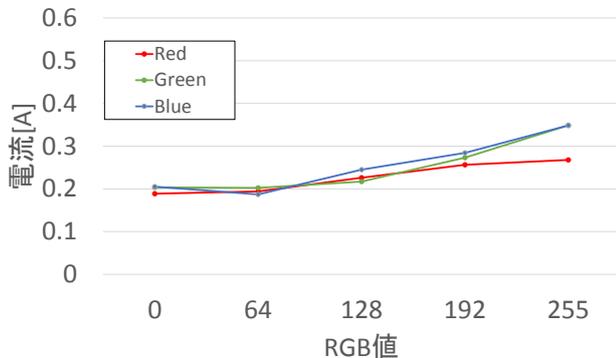


図 3. RGB 値と電流の関係

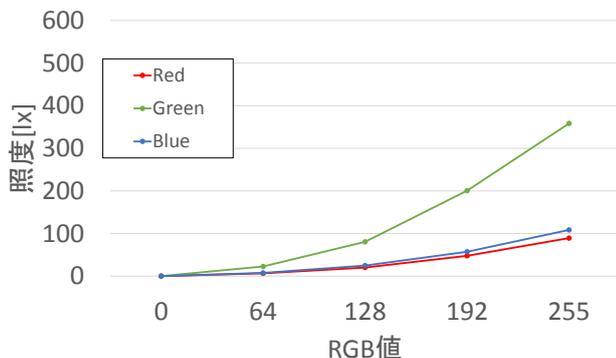


図 4. RGB 値と照度の関係

図 3, 4 より、いずれの色においても RGB 値を上昇させると電流、照度ともに上昇するが、上昇の程度は原色の種類により異なることが分かる。例えば、RGB 値の B(青)の値を上昇させると電流が大きく上昇するが、照度の上昇は小さいことが分かり、RGB 値の G(緑)の値を上昇させると電流の上昇が大きいと照度の上昇も大きいことが分かる。G(緑)の値の上昇に伴い照度が大きく上昇する理由は、照度計が標準比視感度に則して測定を行っており、標準比視感度において波長 555nm(緑)が最高の感度であるため、緑の出力増加が照度の増加に繋がりやすいからであると考えられる。また、RGB 値が低い(64 以下)範囲では RGB 値の上昇による電流の上昇が小さいが、RGB 値が高い(192 以上)範囲では RGB 値の上昇に伴う電流の上昇が大きいことが分かる。

次に、RGB のうち複数の LED を発光させたときの色(RGB 値)と電流、照度の関係の調査結果について述べる。R, G, B の値を等しくして発光させたときの色(RGB 値)と電流の関係を図 5 の“Gray”に、色(RGB 値)と照度の関係を図 6 の“Gray”に示す。図 5, 図 6 の横軸の値は RGB の各値であり、例えば横軸の値が 192 であればディスプレイの全ピクセルが RGB=(192,192,192)の状態である。

また、図 3 における各原色の電流増分の合計を図 5 の“R+G+B”に示す。例えば、横軸の値が 192 であれば、ディスプレイの全ピクセルが RGB=(192,0,0)の状態における電流増分と、全ピクセルが RGB=(0,192,0)における電流増分と、全ピクセルが RGB=(0,0,192)における電流増分の合計である。ただし、増分はベースラインを 0.188[A]として計算した。

同様に図 4 における各原色の照度の合計を図 6 の“R+G+B”に示す。横軸の値が 192 であれば、全ピクセルが RGB=(192,0,0)における照度と、全ピクセルが RGB=(0,192,0)における照度と、全ピクセルが RGB=(0,0,192)における照度の合計である。図 5, 図 6 の“Gray”と“R+G+B”を比較すると両者はほぼ等しい値であることが分かる。これより原色の発光により生じる電流と照度の上昇の合計が、特定の色(RGB 値)の表示により生じる電流と照度の上昇とほぼ等しいことが期待できる。すなわち、RGB=(x,y,z)の表示により生じる電流および照度の上昇をそれぞれ、 $i(x,y,z)$ と $L(x,y,z)$ とすると

$$i(x,y,z) \approx i(x,0,0) + i(0,y,0) + i(0,0,z) \quad (10)$$

$$L(x,y,z) \approx L(x,0,0) + L(0,y,0) + L(0,0,z) \quad (11)$$

となると期待できる。

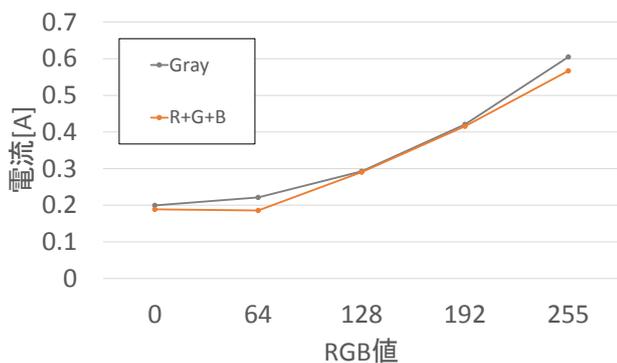


図 5. 電流における測定値と合計値の関係

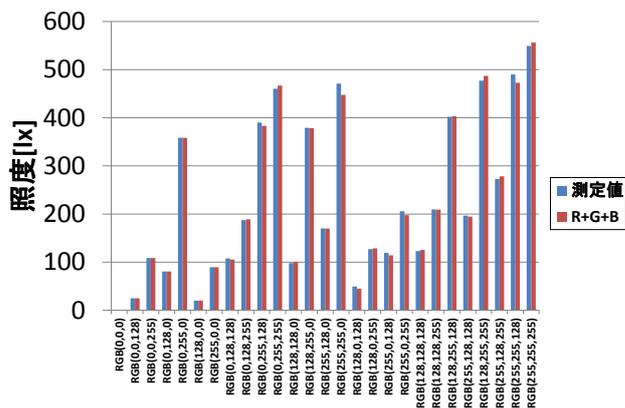


図 8. 照度の測定値と合計値の比較

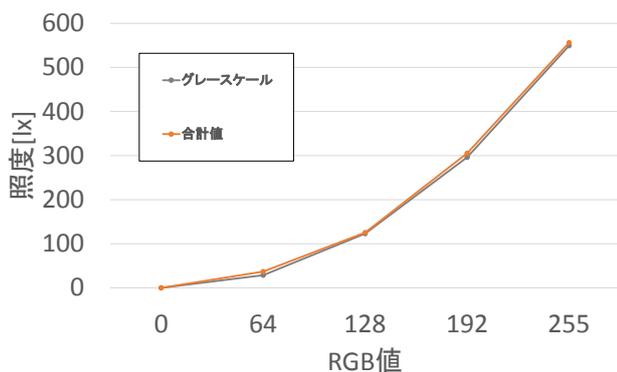


図 6. 照度における測定値と合計値の関係

各原色の値を 0,128,255 と独立に変化させ、それぞれの組み合わせにて式(10)および式(11)が成立するかを調整した。電流の評価結果を図 7 に、照度の評価結果を 8 に示す。図 7, 8 より、両式はほぼ成立することが分かる。

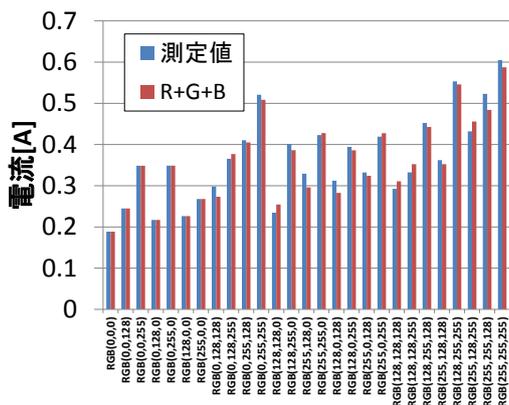


図 7. 電流値による測定値と合計値の比較

4. 提案手法

本章にて、Android 端末における省電力化を実現する以下 2 つの手法を提案する。

4.1 RGB 減算手法

前章の調査より、RGB 値の減少により電流の減少を実現できることが確認された。また、RGB 値が高い範囲にて電流減少の効果が大きいことが確認された。本節にて、式(11)、図 9 に従い各ピクセルの RGB 値を減少させ、消費電力を低減させる手法を提案する。

$$\begin{cases} x' \leftarrow \frac{x}{2} & \text{if } x \leq THSH \\ x' \leftarrow x - \frac{1}{2}THSH & \text{if } x > THSH \end{cases} \quad (11)$$

ただし、式(11)の x は提案手法適用前の RGB 値(入力)であり、 x' は提案手法適用後の RGB 値(出力)である。THSH は暗くする(省電力を行う)強さを表すチューニングパラメータである。本手法は RGB 値が大きなピクセルの RGB 値を大きく減らしているため、電流削減の効果が大きいと期待できる。また、RGB 値の大きなピクセル間にてコントラスト(明暗の差)の劣化を生じさせず、RGB 値の小さなピクセル間にてコントラストをより大きく劣化させている。よって、白色に近いピクセル群が重要である状態ではユーザの見やすさを損なう程度が小さくなると期待できる。そして、多くの主要なアプリケーション(メールやブラウザなど)にてこの特徴が存在すると我々は予想している。

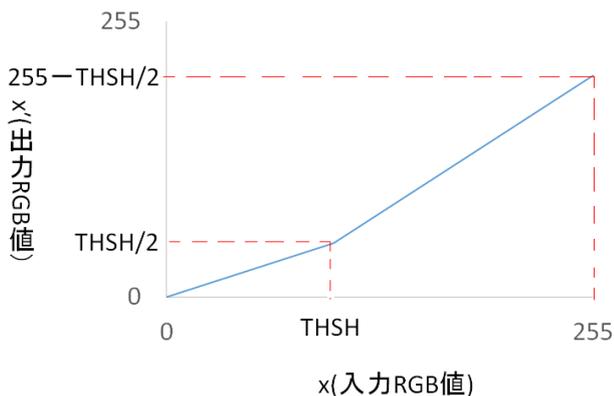


図 9. RGB 減算手法

4.2 HSV Value 減算手法

本節にて、HSV 表現にて Value 値を減少させ消費電力を削減する手法を提案する。

この手法においては、RGB 値で表されている値を 2.2 節の手法により HSV 表現に変換する。そして、変換された HSV における明度(Value)を減算させる。減算式は、式(11)における入力 RGB 値にあたる x を明度(Value)に置き換えたものを使用し、RGB 値減算手法と同様の減算を行う。そして、減算された画像を再び RGB 表現に戻し、ディスプレイに表示させる。この手法では、色相や彩度に変化を生じさせず明度のみを減少させることが可能となる。

5. 評価

本章にて提案手法の評価結果を述べ、その有効性を示す。

5.1 評価方法

Android 端末におけるディスプレイ省電力を通常手法(明るさ調整)と提案手法で行い、その電流と見やすさを評価した。評価に用いた端末は表 1 のものである。ディスプレイの表示内容としては、ブラウザ画面、メール画面、ゲーム画面、待ち受け画面を用いた。ブラウザ画面とメール画面は白色に近いピクセルが多く、ゲーム画面は黒に近いピクセルが多い。待ち受け画面は灰色に近いピクセルが多い。各画像の各 RGB 値の出現頻度(ヒストグラム)を付録に示す。

提案手法の評価は、以下で述べる評価用実装を用いて行った。評価用実装では、OS のカーネル(Linux カーネル)のフレームバッファを用いてディスプレイ表示の RGB データを取得する。そして、RGB 値の変換をユーザ空間で行い、得られた RGB データを画像表示アプリケーションを用いてディスプレイに表示する。

5.2 電流評価

5.2.1 RGB 減算手法

通常手法(明るさ調整)およびRGB減算手法にて省電力を行ったときの電流を図 10~13 に示す。図内に“明るさ調整”と記されているものが通常手法であり、“THSH”と記

されているものが RGB 手法である。ただし、提案手法においては明るさ調整を常に 100%として測定を行った。図より、通常手法、提案手法ともに省電力に効果があること、通常手法と提案手法で削減できる範囲(最大削減量)はほぼ同等であることが分かる。

また、元々RGB値の高い色のピクセルが多い画面(ブラウザ画面やメール画面)ほど、元の電流値が高く、削減の効果が大きいことが分かる。電流の減少の速度(明るさ調整値や THSH と、削減された電流の量の比)に着目すると、通常手法においては明るさ調整値と電流はほぼ一次関数の関係で減少しており、提案手法においても THSH10 から THSH70 までは一次関数に近い速度で減少していることが分かる。

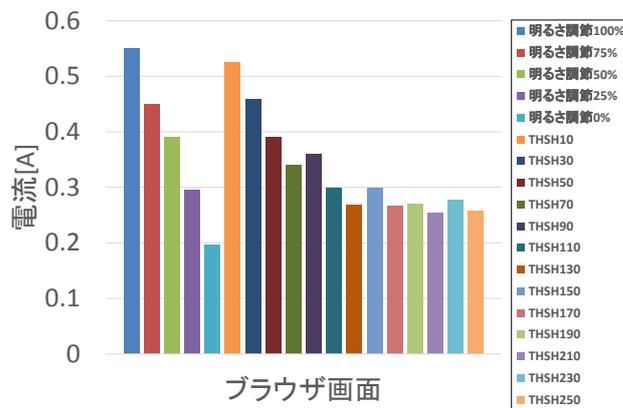


図 10. 電流評価(RGB 減算手法, ブラウザ画面)

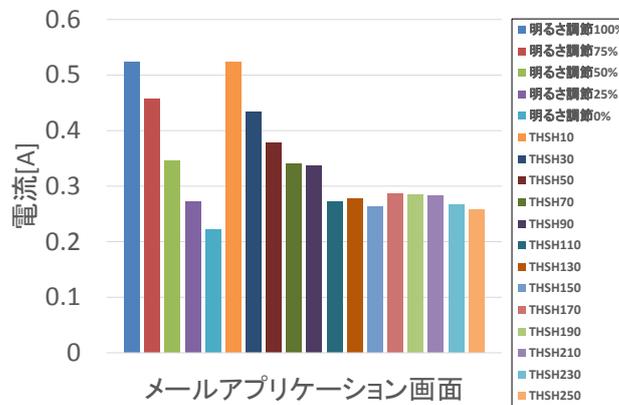


図 11. 電流評価(RGB 減算手法, メールアプリケーション画面)

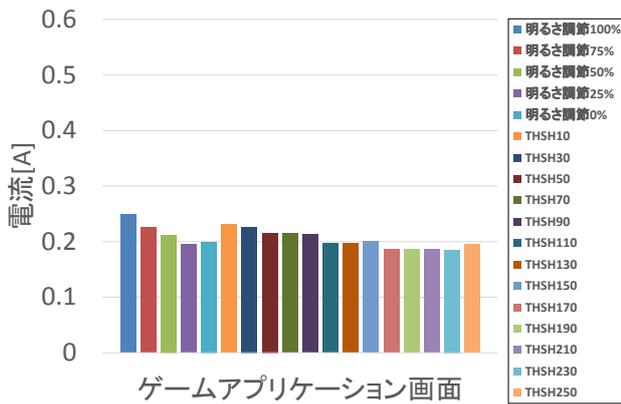


図 12. 電流評価(RGB 減算手法, ゲームアプリケーション画面)

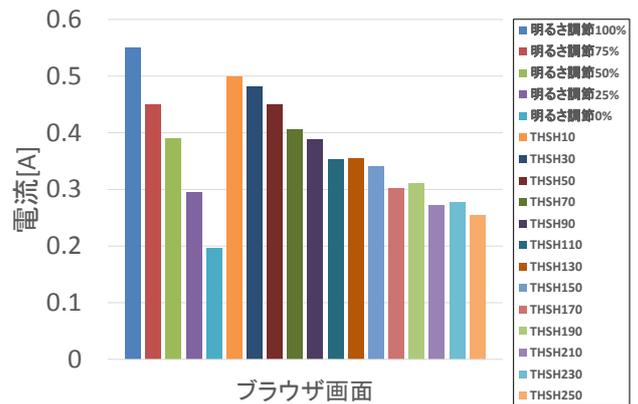


図 14. 電流評価(HSV Value 減算手法, ブラウザ画面)

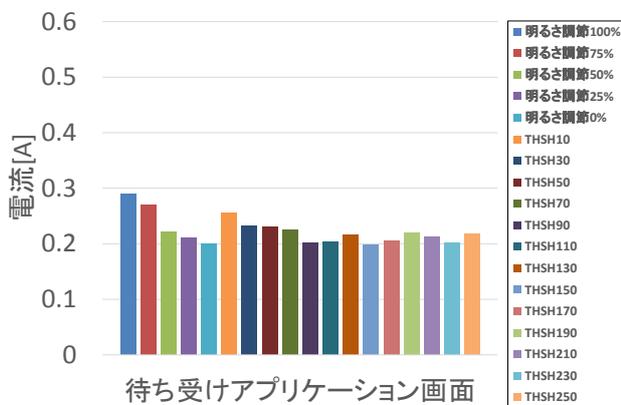


図 13. 電流評価(RGB 減算手法, 待ち受けアプリケーション画面)

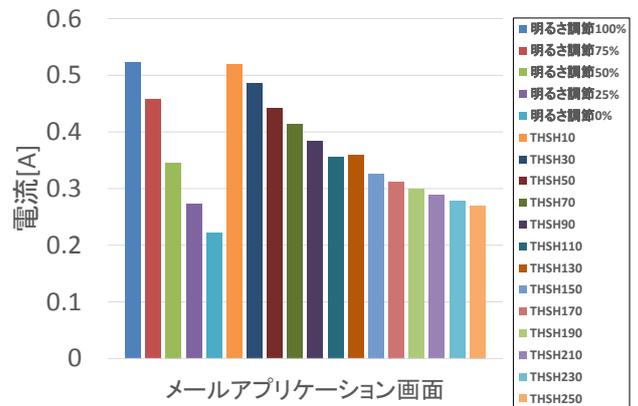


図 15. 電流評価(HSV Value 減算手法, メールアプリケーション画面)

5.2.2 HSV における Value 減算手法

通常手法(明るさ調整)および Value 減算手法にて省電力を行ったときの電流を図 14~17 に示す。ただし、提案手法においては明るさ調整を常に 100%として測定を行った。図より、通常手法、提案手法ともに省電力に効果があること、通常手法と提案手法で削減できる範囲(最大削減量)はほぼ同等であることが分かる。

RGB 減算手法に比べると、明るい画面(ブラウザ画面、メール画面)においては消費電力が緩やかに減少していることが分かる。また、THSH250 のときまで一次関数に近い減少をしていることが分かる。しかし、暗い画面(ゲーム画面、待ち受け画面)においては減少する幅が小さく、THSH150 を越えた辺りからほぼ減少していない。このことから、Value 減算手法も RGB 値が高いピクセルが多い状況でより大きな電流の削減ができることが分かる。

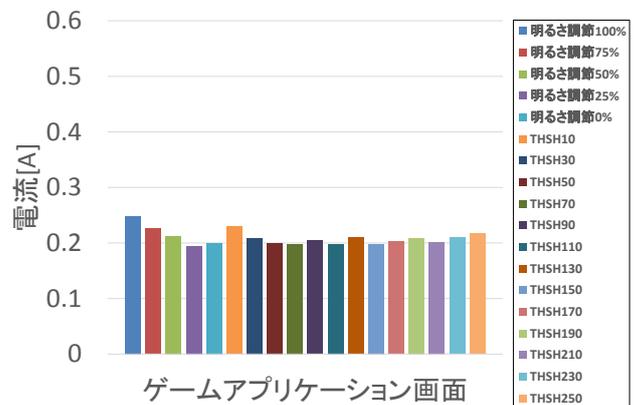


図 16. 電流評価(HSV Value 減算手法, ゲームアプリケーション画面)

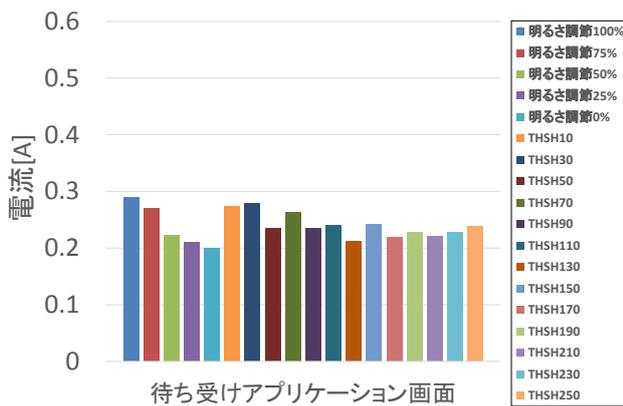


図 17. 電流評価(HSV Value 減算手法, 待ち受けアプリケーション画面)

5.3 見やすさの主観評価

次に、通常手法と提案手法を適用した画像の見やすさの評価について述べる。通常手法と2つの提案手法の見やすさを主観により評価した。電流がほぼ同等となる2種類のディスプレイ表示(片方は通常手法により省電力を行った表示、もう片方は提案手法により省電力を行った表示)を用意し、アンケートによる見やすさの主観評価を行った。用いたディスプレイ表示の設定は RGB 減算手法による評価が表2, HSV における Value 減算手法が表3の通りである。

表 2 主観評価(RGB 減算手法)

	画面	提案手法	通常手法
①	標準ブラウザ	THSH50 0.389[A]	明るさ調整 50% 0.391[A]
②	メールアプリ	THSH50 0.340[A]	明るさ調整 50% 0.345[A]
③	ゲームアプリ	THSH30 0.210[A]	明るさ調整 75% 0.212[A]
④	待ち受けアプリ	THSH100 0.219[A]	明るさ調整 50% 0.223[A]

表 3 主観評価(HSV における Value 減算手法)

	画面	提案手法	通常手法
①	標準ブラウザ	THSH90 0.388[A]	明るさ調整 50% 0.390[A]
②	メールアプリ	THSH250 0.270[A]	明るさ調整 25% 0.272[A]
③	ゲームアプリ	THSH70 0.263[A]	明るさ調整 75% 0.269[A]
④	待ち受けアプリ	THSH70 0.197 [A]	明るさ調整 0% 0.199[A]

全ての比較において電流は通常手法の方がわずかに高く

なっており、提案手法にとってわずかに不利な条件での比較となっている。主観評価は、7人の被験者に両方のディスプレイ表示を見せて「どちらが見やすいか」との質問をし、回答を得て行った。「見やすさ」の定義は被験者の主観に委ねられているが、ブラウザ画面やメールアプリ画面では文字の判別のしやすさが大きな要因の1つになったと予想できる。すべての被験者は本稿執筆時点において大学生(22才から23才)である。評価は、どちらの表示が提案手法によるものであるかを被験者が知ることができない状態で行った。評価環境は室内で、明るさは313[lx]であった。

表 4 主観評価結果(RGB 減算手法)

	画面	提案手法を選んだ人数	通常手法を選んだ人数
①	標準ブラウザ	5人	2人
②	メールアプリ	4人	3人
③	ゲームアプリ	5人	2人
④	待ち受けアプリ	4人	3人

表 5 主観評価結果(HSV における Value 減算手法)

	画面	提案手法を選んだ人数	通常手法を選んだ人数
⑤	標準ブラウザ	6人	1人
⑥	メールアプリ	6人	1人
⑦	ゲームアプリ	5人	2人
⑧	待ち受けアプリ	6人	1人

主観評価結果は表4, 5の通りである。全ての結果にて、提案手法は通常手法と同じ電流にてより見やすい表示を提供できていることが分かり、提案手法の有効性が確認された。また、Value 減算手法の方がより高い見やすさを実現できることが確認できる。これは、HSV の Value 減算手法が色相と彩度の変化を伴わずに電流の削減を実現していることが理由であると考えられる。

6. 関連研究

Android の消費電力に関する既存の研究としては、以下のものがある。Rahul Murmuria らはディスプレイを含む Android の様々なデバイス、機能による消費電力の調査を行っている[3]。そして、LCD において RGB 値を変更させたときの消費電力の変化の調査や、明るさ調整時の消費電力の調査などが行われている。しかし、当該研究ではディスプレイに単一色が表示されている場合を考察の対象とし

ており、アプリケーション利用時の考察はない。Aaron Carrollらは明るさ調整を変更したときの消費電力と明るさの関係の解析、内部 NAND フラッシュシステム、SD カードにおける読み込みベンチマーク時と書き込みベンチマーク時の消費電力の解析、音楽、映像再生時の消費電力の解析などを行っている[6]。Malik はスマートフォンの通信状態による消費電力と電流の関係の解析、各通信モードにおける通常状態とスリープ状態の消費電力の解析を行っている[7]。しかし、これらは調査のみを行った研究であり、消費電力削減手法に関する考察はない。

有機ELディスプレイの消費電力と画質の研究としては、桑原らによる固定長符号化マルチラインアドレッシングを用いる手法の提案[4]や、大橋らによる有機ELディスプレイの消費電力の解析[5]がある。これらの研究において有機ELの消費電力の評価などが行われているが、画面の明るさ(明度)と消費電力の関係を考慮した省電力手法の提案や評価はなく、本研究とは目的や貢献の内容が異なっている。

Android 端末における性能と消費電力のバランス制御を実現した手法として文献 [8]がある。本手法はCPUのクロック周波数と性能の関係を調査し、必要とされる値まで性能(クロック周波数)を上昇させ、不必要な消費電力を削減している。しかし、ディスプレイによる消費電力の削減を行った本稿とは研究の目的や貢献の内容が異なっている。

7. おわりに

本稿ではディスプレイによる消費電力に着目し、画像を取得し変更することによって消費電力の低減を行う手法を提案した。そして電流の計測と見やすさの主観評価を行い、全ての評価において提案手法は端末に用意されている通常手法より同じ電流でより高い見やすさを実現できている結果を得ることができ、提案手法の有効性が確認された。

今後は、液晶ディスプレイへの適用、より多くのアプリケーション画面による評価を行っていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費(24300034, 25280022, 26730040)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Feature Phones for the First Time in 2013, <http://japan.cnet.com/marketers/news/35039316/>
- 2) 日本経済新聞 http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2600W_W3A320C1000000/ 2013年4月1日
- 3)Rahul Murmura, Jeffrey Medsger, Angelos Stavrou, Jeffery M. Voas, "Mobile Application and Device Power Usage Measurements", Energy aware self-adaptation in mobile systems,USA,2013
- 4)島田貢明, "アルファベット指文字の肌色抽出と認識に関する基礎的研究", 仁愛女子短期大学, 研究紀要, 2011

5)葭矢景淑, "準光速世界で見える風景の擬似撮影", 大阪工業大学, 2013

4)桑原卓也, 服部励治, "固定長符号化マルチラインアドレッシング有機ELディスプレイの消費電力及び画質の評価", 電子情報通信学会 信学技報, 2012

5)大橋誠二, 杉本慎太郎, 服部励治 "パッシブマトリクス駆動有機ELディスプレイの消費電力解析", 電子情報通信学会, 信学技報

6)Aaron Carroll, Gemot Heiser, "An Analysis of Power Consumption in a Smartphone" NICTA, University of New South Wales, 2010

7)Muhammad Yasir Malik "Power Consumption Analysis of a Modern Smartphone", Seoul National University, 2012

8)Kyosuke Nagata, Saneyasu Yamaguchi, Hisato Ogawa "A Power Saving Method with Consideration of Performance in Android Terminals", ATC, 2012

付録

評価実験で用いた4枚の画像(ブラウザ画面, メールアプリケーション画面, ゲームアプリケーション画面, 待ち受けアプリケーション画面)のRGB別の出現頻度は図18から図29の通りである。

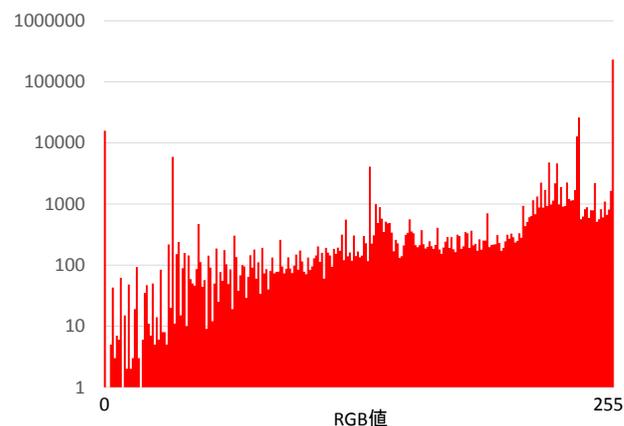


図18.ブラウザにおける赤色出現頻度

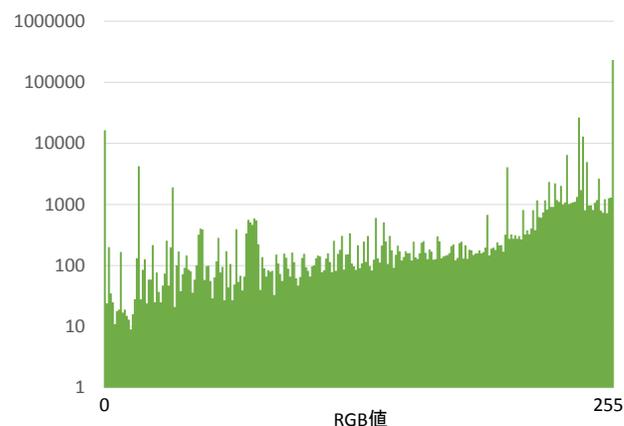


図19.ブラウザにおける緑色出現頻度

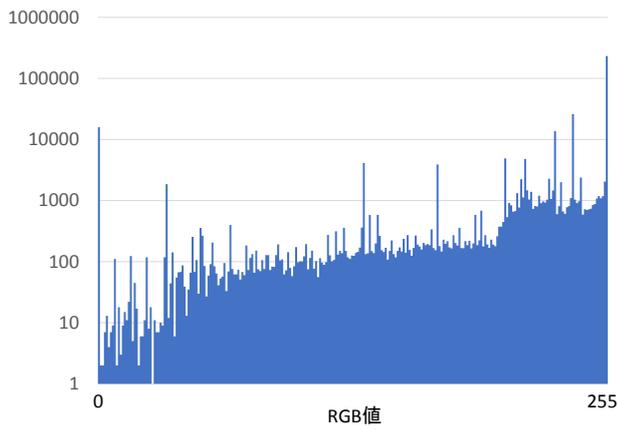


図 20. ブラウザにおける青色出現頻度

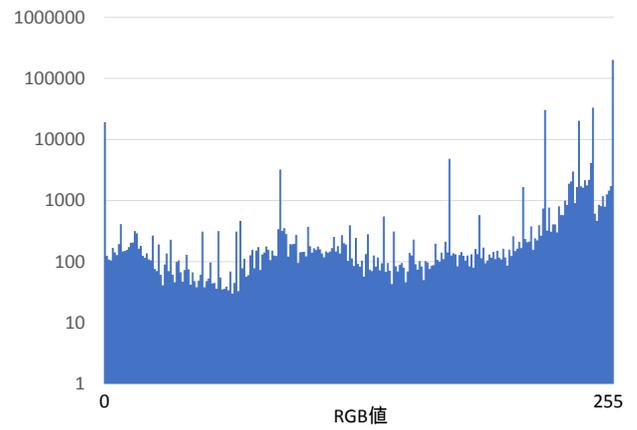


図 23. メールアプリケーションにおける青色出現頻度

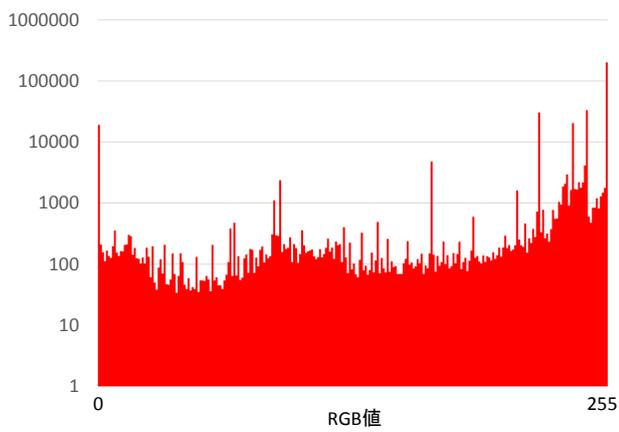


図 21. メールアプリケーションにおける赤色出現頻度

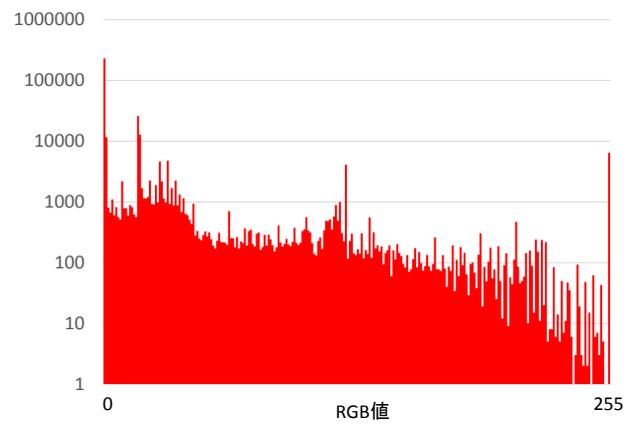


図 24. ゲームアプリケーションにおける赤色出現頻度

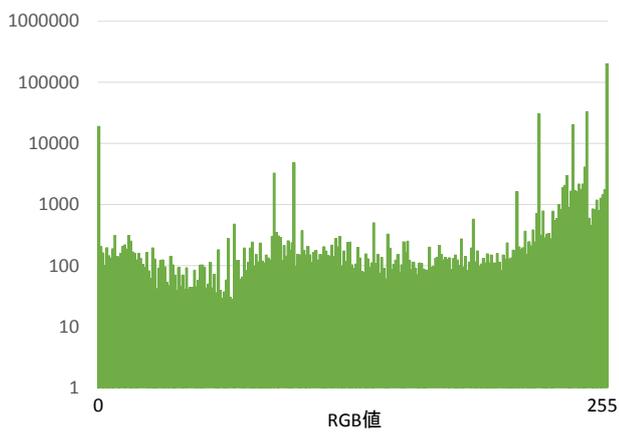


図 22. メールアプリケーションにおける緑色出現頻度

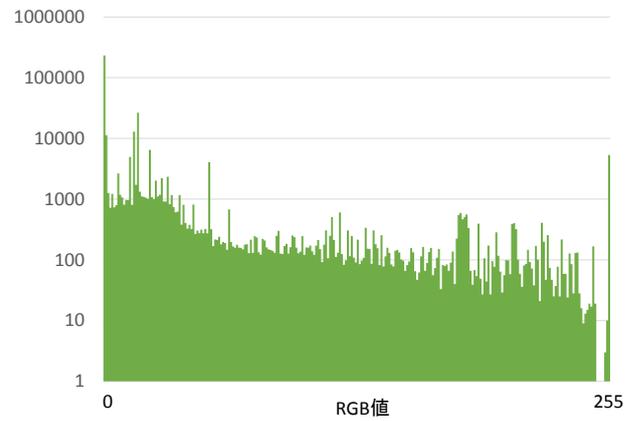


図 25. ゲームアプリケーションにおける緑色出現頻度

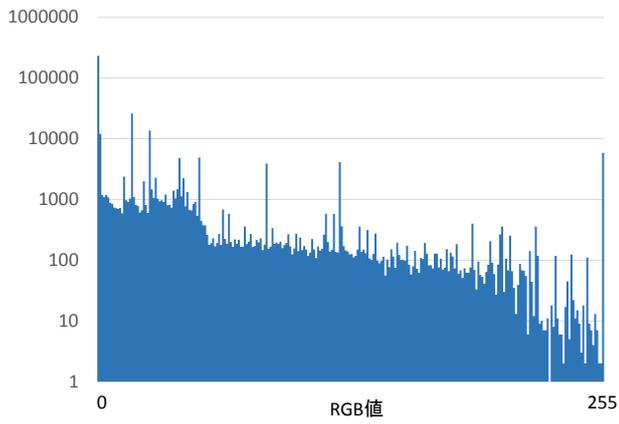


図 26. ゲームアプリケーションにおける青色出現頻度

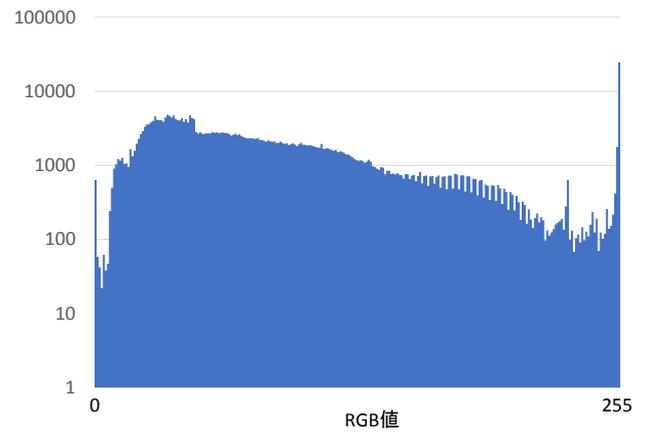


図 29. 待ち受けアプリにおける青色出現頻度

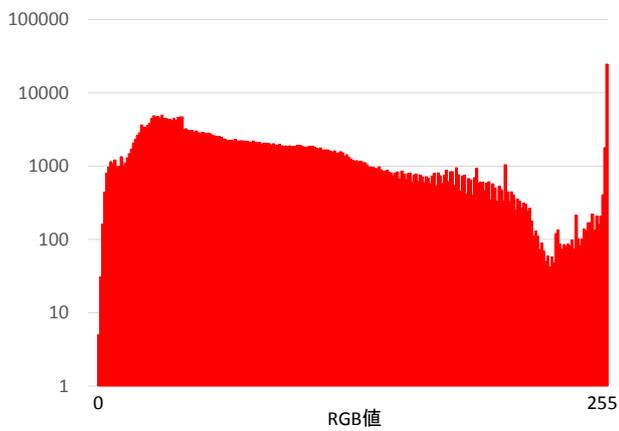


図 27. 待ち受けアプリにおける赤色出現頻度

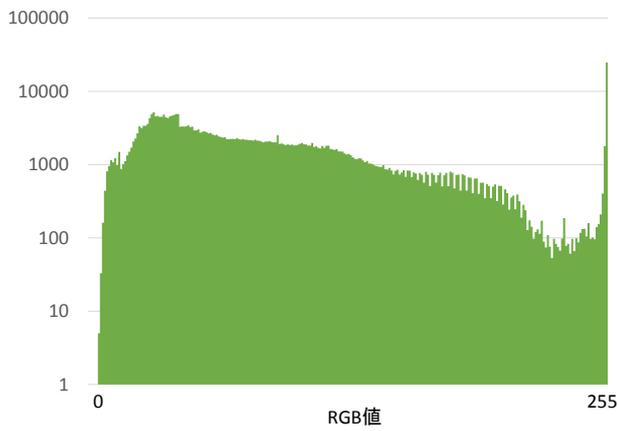


図 28. 待ち受けアプリにおける緑色出現頻度