基于视觉特性的手机屏幕亮度自适应调节算法

李孟君 黎文伟

(湖南大学信息科学与工程学院 长沙 410000)

摘 要 人工智能技术的发展促使人们通过智能手机进行交互,因此设置适宜的手机屏幕亮度对于保护人眼健康至关重要。针对该问题,文中结合人眼视觉特性对手机屏幕自适应亮度调节算法进行了优化。首先,设计了两款测量工具来采集和分析相关的数据。然后,采用主观评价的方法对室内外不同环境照度条件下的手机亮度值进行了研究。实验结果显示,用户理想的手机屏幕亮度远远低于现有自动亮度调节下的手机屏幕亮度。最后,根据用户的体验和人体视觉的特性设计了相应的算法,并对算法进行了评估。

关键词 智能手机,自适应屏幕亮度,测量环境照度,视觉特性,用户体验

中图法分类号 TP3-05 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.02.039

Adaptive Adjustment Algorithm of Mobile Phone Screen Brightness Based on Visual Characteristics

LI Meng-jun LI Wen-wei

(College of Computer Science and Electronic Engineering, Hunan University, Changsha 410000, China)

Abstract The development of artificial intelligence technology prompts people to interact with each other by smartphone, therefore, it is significant to set suitable phone screen brightness for keeping eyes healthy. In light of this problem, this paper optimized the adaptive adjustment algorithm of mobile phone screen brightness by combining the human visual characteristics. Firstly, this paper designed two measurement tools to collect and analyze relevant data. Then, this paper made use of the method of subjective evaluation to study the smartphone brightness under different indoor and outdoor illumination conditions. The experimental results show that the ideal mobile phone screen brightness is much lower than the screen brightness of mobile phones obtained by the existing automatic brightness adjustment. At last, according to users' experience and the characteristics of human vision, this paper designed and evaluated corresponding algorithm.

Keywords Smartphone, Adaptive screen brightness, Measurement of ambient illumination, Visual characteristics, User experience

1 引言

随着人工智能技术的不断发展,人们的日常生活逐渐智能化,尤其是智能手机空前普及。市场研究公司 Zenith 的报告显示,根据 52 个国家和地区的调查,2017 年底,全球智能手机普及率为 63%,2018 年将攀升到 66%。用户通过智能手机进行各种交互已然成为习惯,机不离手更成为时下人们的生活常态,年轻人尤甚。鉴于此,设置适宜的手机屏幕亮度,对人体的健康尤其是眼部健康就显得至关重要。与人们使用的台式电脑和手提电脑相比,当人们在室外环境下使用手机时,屏幕亮度的显示不能满足人眼舒适度的需求。

国内外诸多研究者对影响显示器显示功效的各个因素进行了研究,这些研究包括显示内容、环境照度、对比度,以及目标和背景颜色等。美国国家劳动安全卫生研究所推荐的水平照度为 500～700 lux;45% 的 VDT 作业者认为适宜照度为 200～400 lux[1]。高传思等[2]的研究表明,看不清物体不仅与环境照度和亮度有关,还依赖于目标物体与背景的亮度对比度,对比度越小,辨别物体的难度就越大。朱祖祥[3]通过视觉绩效指数和眼肌调节时间变化率两个指标来研究亮度、对比度对视觉功能的影响。许为等[4]对在不同的屏面背景亮度下正确辨认荧光屏字符亮度对比度的问题进行了实验研究,结果表明:随着背景亮度的增加,正确辨认红、绿、蓝 3 种颜色字符的亮度对比度阈值均下降。对于环境照度,Helander 等[5]的研究表明:当一个显示器处于光照强的环境中时会产生表面反射,因此在 VDT 工作环境中,环境照度是一个非常重要的因素。Shieh 等[6]研究了屏幕的类型、环境的照度、目标-背景颜色组合对 VDT 视觉绩效和主观偏好的影响。

由以上的研究可以发现:以往的研究主要在室内环境下进行,环境照度相对较低,不同研究者的研究结果还存在着一定程度上的不一致。此外,研究者均从某个角度出发对屏幕

到稿日期:2017-12-26 返修日期:2018-02-25 本文受长沙市科技计划项目(kq1701035)资助。

李孟君(1993－),女,硕士生,主要研究方向为移动互联网,E-mail:1075105144@qq.com;**黎文伟**(1975－),男,博士,副教授,主要研究方向为网络测试与优化、网络管理,E-mail:50229023@qq.com(通信作者)。

的亮度进行调节，而结合人体视觉来调节屏幕亮度的研究则很少。根据实际情况，用户的视觉体验应是需要考虑的一个极其重要的因素。基于此，我们将人体视觉特性与外界环境因素相结合，对屏幕亮度自适应调节进行了研究。

目前人们常用两类手机——Android 手机和苹果手机，亮度的自动控制是智能手机的一项常用功能，用户可在具有此功能的 Android 手机的菜单设置中进行启用。手机屏幕的前面板上有一个环境光传感器，用于测量在面板上的光照强度。操作系统软件与光传感器配合工作，根据测量的数据调节屏幕的亮度，无需手动设置即可使用户在最佳的手机屏幕亮度下使用手机。在环境光较弱时，系统软件将自动调低手机屏幕亮度；当环境光较强时，系统软件将自动调高屏幕亮度。但是，较差的调节设置降低了自动调节效果。通过 Android 手机的默认设置，屏幕亮度在强环境光下相对较暗，而在弱环境光下又太亮。为了使用户拥有舒适的体验，有必要将人体视觉特性与外界因素结合起来对屏幕亮度的自适应调节进行改进和优化。

因此，本文将根据人体视觉特性与实际光照强度研究确定适宜的屏幕亮度。本文的主要贡献如下：

1）设计了两个工具 MyApplication 和 PicApplication。MyApplication 收集在不同时间段外界环境亮度的变化；PicApplication 从主观的角度评价手机自动调节下的亮度，并对用户的主观舒适亮度进行统计。

2）分析收集的数据，找出现有的手机屏幕亮度自适应调节与环境光之间的关系，以及外界环境光在不同的时段和天气状况下的分布情况；同时，从主观的角度出发，分析出适宜用户的手机屏幕亮度。

3）根据人体视觉特性，提出手机亮度自适应调节算法。

4）进行算法评价。

本文第 2 节主要介绍实验设计；第 3 节对实验数据进行分析；第 4 节提出相应的算法；最后进行总结与评价。

2 实验设计

屏幕亮度的自适应调节与外界环境中光的强弱息息相关，因此，测量外界环境中光的强弱与现有自动亮度调节机制下屏幕亮度的关系及外界环境光强弱的分布情况尤为重要。接下来对现有的自动亮度调节机制下的外界环境中光的强弱与手机屏幕亮度的关系，以及外界环境光强度的分布进行了数据搜集和分析；并对人们在某种环境下的主观舒适度进行了调查。

2.1 环境光的分布

本文设计了一个简单的 Android App 工具——MyApplication 来搜集现有自动亮度调节机制下手机屏幕的亮度与外界环境光强弱之间的关系。该工具在手机后台运行，不影响人们日常使用手机。当关闭手机屏幕时，停止数据采集；当打开屏幕时，后台服务被唤醒，开始对数据进行采集。设置该工具采集数据的频率为每 3 s 采集一次，因此不会一直消耗用户手机中的资源。

图 1 展示了采集外界环境光强弱与手机屏幕亮度的工具，其搜集了时间、地点、天气、环境光强弱和手机屏幕亮度等信息。环境光强弱是通过读取手机的光感器数据得到的，手机屏幕亮度是在手机自带的自适应亮度调节的条件下根据外界的环境光强弱而采集的数据。



图 1 MyApplication 工具

Fig. 1 MyApplication tool

实验选择 oppo 系列的智能手机，手机型号分别为 oppoR9，oppoR9S，oppoR9Splus；利用工具 MyApplication 进行数据采集。具体方法是将设计的工具安装在这 3 部不同的手机上，并使之一直运行在后台，数据采集工作持续了 2 个月。

2.2 主观评价

对于用户的主观舒适度，设计了一个主观实验进行测量。首先设计了一个名为 PicApplication 的测量工具，该工具随机为用户展示图片；然后用户根据展示的图片效果对现有的自动亮度调节下的舒适度进行评价，有 3 个评价等级：满意、一般、不满意；最后用户可以利用该工具调节屏幕亮度，确定自己最满意的亮度。

图 2 为 PicApplication 测量工具。通过该工具可以选择不同的背景图片，对于不同颜色的背景图片，字体的颜色也会随之改变。该工具能够采集当前光照强度下手机自身的自动亮度调节机制调节后的手机屏幕亮度。在现有的自动亮度调节机制下，实验者根据屏幕的亮度舒适度为该工具评分，同时根据自己的感觉调节出更舒适的屏幕亮度。PicApplication 工具后台收集的数据包括：图片编号、环境亮度、自动调节下手机屏幕的亮度、人们对自动亮度调节下手机屏幕亮度的满意度、用户调整后满意的亮度。



图 2 PicApplication 工具

Fig. 2 PicApplication tool

实验召集了 30 名学生（男生和女生各 15 名），使用的手机型号为 oppoR9s。通过 2.1 节的实验结果发现：oppo 手机

自适应亮度调节机制下，屏幕亮度出现频率最多的值为 22，48 和 255，因此选择寝室、实验室和室外分别代表光线弱（暗）、正常以及强（亮）的环境；并且，在现有的手机屏幕亮度自适应调节机制下，这 3 种环境下的屏幕亮度值正好为 22，48 和 255。基于对各网站背景色调的统计，选择了 6 张纯色的背景图：白色、黑色、蓝色、绿色、米色和紫色。对于字体颜色的选取，我们选择使用最多的两种颜色：白色和黑色。根据人眼的视觉特性，当对比度越大时，人眼的视觉就越敏感，所以，对于深色（如黑色、蓝色和紫色）图片，设置字体颜色为白色，剩下的则设置为黑色。实验一共收集了 540 条数据，对数据进行了分析，详见第 3.2 节。

3　实验数据分析

3.1　环境光强度分布以及与手机屏幕的关系

我们对 MyApplication 采集的数据进行筛选。手机屏幕关闭时的数据是不需要的，因此在进行数据分析时将这部分数据去掉；重复的环境光强弱和屏幕亮度数据对实验的意义不大，同样将其去掉。通过以上筛选，对剩下的数据进行分析。

通过实验数据发现：外界环境的光照强度有规律可循。室内的环境光亮度分为两部分：寝室和办公室。寝室的环境光亮度相对办公室的偏暗，亮度是 0～150 lux。办公室的环境光亮度为 150～1 000 lux。对于室外环境光亮度，天气不同则亮度不同。晴天时，手机测到的环境光亮度为 10 000～31 000 lux（因手机传感器能测到的最大环境亮度为 31 000 lux，所以最大值不够准确）。阴天时，外界的环境光亮度为 100～10 000 lux。

图 3 给出 oppo 手机自适应亮度调节机制下屏幕亮度与环境光亮度之间的关系。可以发现，屏幕亮度和环境光亮度之间呈分段函数的关系。在某个环境光亮度的范围内屏幕亮度不发生改变。屏幕亮度的整体范围为 0～255 lux，环境光亮度可以达到 30 000 lux 以上。测量的数据显示屏幕亮度基本分布在 22 lux，48 lux 和 255 lux 这 3 个值上。当环境光变化的幅度很大时，由于屏幕亮度存在一个缓冲过程，屏幕亮度并没有马上改变，这就造成了分段之间会有重合的部分。

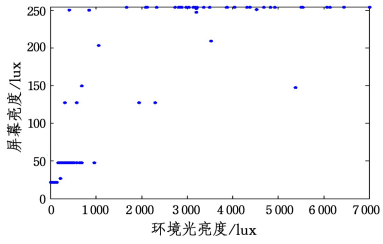


图 3　屏幕亮度随环境亮度的变化关系

Fig. 3　Variation relationship between screen brightness and environment brightness

经过上述数据分析发现，现有的手机屏幕亮度自适应调节机制还有一定的弊端。一方面，分段太少，导致人眼实际所需的亮度远远低于屏幕呈现出来的亮度，因此我们可以将亮度调节到更低以节省电量。另一方面，没有考虑到人眼的舒适度，从视觉学来说，手机屏幕亮度和外界环境光亮度需遵循一定的线性规律，才能更合理地为人眼带来更好的舒适度。

3.2　用户主观评价的数据分析

人眼对某个区域感觉到的亮度不仅依赖于它自身的亮度，还与其背景光有密切的关系。在不同的背景光下，相同的亮度值给人眼的亮度感觉也不同。

图 4 为不同背景颜色下，用户对手机屏幕亮度的主观评价。图 4(a)为用户对手机屏幕亮度的整体满意度；图 4(b)—图 4(d)为 3 种不同场景下用户对手机屏幕亮度的满意度。其中，横坐标代表不同颜色的图片：1 代表白色，2 代表黑色，3 代表蓝色，4 代表绿色，5 代表米色，6 代表紫色。从整体来看，大多数用户对现有的自适应亮度调节机制下的亮度持一般和不满意的态度。对于图 4(b)的弱光环境，人眼主要靠视网膜上的视杆体来工作；而在图 4(c)的强光环境下，人眼的视椎体非常敏感。从图 4(a)中可以看出，用户最不满意的是黑色背景下的亮度，最满意的是米色背景下的亮度。对于 6 个背景颜色，不满意的人数占比更大的是黑色背景-白色字体和蓝色背景-白色字体。通过采访用户可知，在这两个背景图下字体的颜色和背景的颜色对比很强烈，让人感觉很刺眼。因为黑色背景-白色字体是对比度最大的两种颜色，而从人的视觉特性来说，对比度越大，给人眼的感觉就越强烈，因此导致了在相同的背景亮度下，黑色背景和白色字体的搭配给人眼带来的感觉较差。对于图 4(b)，用户最满意的是米色背景下的亮度，最不满意的是黑色背景下的亮度。图 4(c)和图 4(b)一样，用户最满意的是米色背景下的亮度，最不满意的是黑色背景下的亮度。对于图 4(d)，用户最满意的是绿色背景下的亮度，最不满意的是黑色背景下的亮度。从人的视觉特性来看，人眼对 550 nm 的波长最敏感，它能最优化大脑对对比度的感知，而 550 nm 对应的光就是绿光。这就导致了在强光的环境下，人们对绿色背景下的亮度最满意。从图 4(d)可以看出，在室外的环境下，用户的判断比较明显，更多地偏向于浅色背景颜色下的亮度。因此，在光照强烈的环境下，对于背景图颜色的选择，我们可以进行进一步研究。

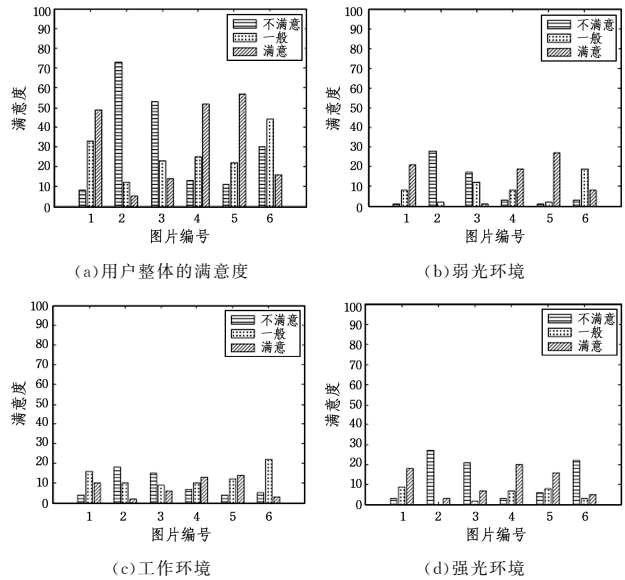
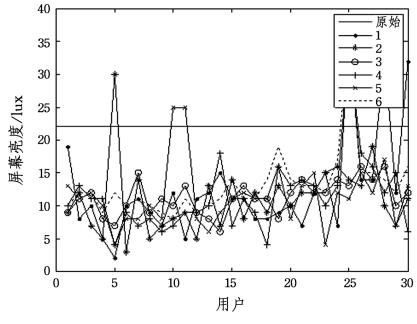


图 4　不同背景颜色下用户对手机屏幕的满意度

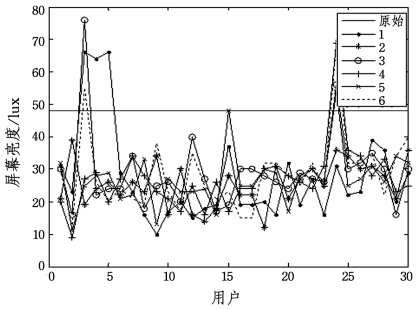
Fig. 4　User's satisfaction of phone screen under different background color

图 5 为在寝室、实验室和室外 3 种环境条件下，用户通过

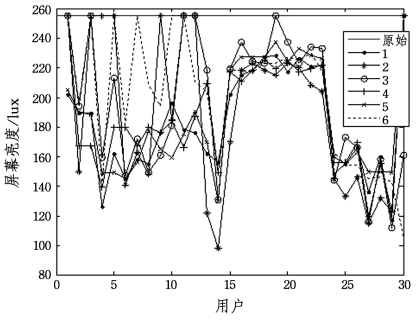
主观判断手动调节出的最合适的手机屏幕亮度。对于图 5(a),大多数用户手动调节的结果都低于手机自动亮度调节的值,而且亮度值都集中分布在 5～15 lux 之间。在黑色、白色、紫色背景图片下均有一个用户调高了亮度,在米色背景图下有两个用户调高了亮度,在绿色背景图下有 3 个用户调高了亮度。对于图 5(b),大多数用户手动调节的亮度值都分布在10～40 lux 之间。在绿色和米色背景图下均有一个用户调高了亮度,在白色背景图下有 3 个用户调高了亮度,在紫色背景图下有两个用户调高了亮度,在蓝色背景图下有两个用户调高了亮度。对于图 5(c),大多数用户手动调节的亮度值都低于手机自动调节的亮度值,但是与图 5(a)和图 5(b)相比,亮度调节的幅度较大,调节的最低亮度值低于 100 lux,最高为 255 lux。出现这一现象的主要原因在于:室外有阳光的照射,采集数据时,有的人处于背光的位置,有的人处于阳光直射的位置,从而导致用户调节的亮度值幅度很大。



(a)寝室环境



(b)实验室环境



(c)室外环境

图 5 不同环境亮度下用户主观调节的屏幕亮度

Fig. 5 Subjectively adjusted screen brightness of users under different environment brightness

4 算法分析

4.1 实验结果分析

通过实验发现:不同环境照度下的手机屏幕亮度不同。实验结果显示,在学生寝室的照度环境下,手机屏幕亮度值应为 5～15 lux;在实验室照度环境下,手机屏幕亮度值应该在 10～40 lux 之间;而在室外环境照度下,手机屏幕亮度值应该设置在 140～200 lux 之间。

通过第一个实验可以发现,手机现有的屏幕亮度调节算法为分段函数:

$$L_B=\begin{cases}22, & 0\leqslant B\leqslant 150\\ 48, & 150<B\leqslant 1500\\ 255, & 1500<B\end{cases} \tag{1}$$

其中,B 表示环境亮度,L_B 表示手机屏幕亮度。

通过对主观实验值取平均,可得:

$$L_B=\begin{cases}12, & 0\leqslant B\leqslant 150\\ 27, & 150<B\leqslant 1500\\ 191, & 1500<B\end{cases} \tag{2}$$

可以看出,用户理想的手机屏幕亮度值远远低于现有的亮度调节算法得出的亮度值。

人眼对亮度突变不能马上响应,需要一个过渡的时间,这种人眼对亮度改变反应滞后的性质被称为视觉惰性。当一定强度的光线突然作用于视网膜时,不能在瞬间形成稳定的主观亮度感觉,而有一个短暂的过渡过程。随着作用时间的增加,主观亮度由小到大,达到最大值后又降低到正常值。另一方面,光像一旦在视网膜上形成,在消失后,视觉系统对它的感觉仍然会持续一段时间,约为 1/20～1/10 s。因此,当改变环境时,屏幕亮度的改变应该延迟 1/10 s。

人类的视网膜由两类视觉细胞视杆体和视椎体构成[7],前者在暗光环境下特别敏感,后者在亮光环境下特别敏感。实验表明,人们对物体亮度的感觉与进入人眼的光强呈对数关系。但是人们对物体亮度的感觉并不完全由物体本身的亮度决定,还与物体所处的背景亮度有关。假设有一亮度的光斑,该亮度用 $I+\Delta I$ 表示,周围的背景亮度用 I 表示,只有当 ΔI 大于某一值时,此光斑才会在背景亮度为 I 时观察到。ΔI 与 I 有一个函数关系,称这个关系为阈值亮度比(TVI)函数,ΔI 为可以分辨的亮度差。侯志强等[7]发现,在低亮度背景和高亮度背景之间有一个相当宽的亮度范围满足韦伯律,即韦伯比 $\Delta I/I$ 近似一个常数,约为 0.02;并进一步证明了韦伯比与环境亮度有关系。根据韦伯-费赫涅尔定理,人眼的亮度感觉 S 与实际亮度 B 的对数呈线性关系:

$$S=K\ln B+k_0 \tag{3}$$

可以用类似的传递函数表示显示屏背光亮度与相对环境光强的对应关系。

$$L_B=12.3\ln B+36.75 \tag{4}$$

对于手机的背景图片,可以通过 RGB 颜色亮度公式来计算背景图片的亮度:

$$L=0.3R+0.6G+0.1B \tag{5}$$

其中,L 表示背景图片的亮度,R,G,B 的范围为 0～255。

亮度(L)与对比度(C)是两个重要的指标,用于衡量人类视觉系统在移动显示器上能看到细节的容易程度。亮度被定义为每单位面积的光强度。对比度与亮度有关,一般来说,对比度的定义是比较显示器上出现黑、白色的亮度,即 L_{black} 与 L_{white}。L_{black} 在 LCD 显示屏上永远不会完全为零,总是有一定量的光通过液晶矩阵泄漏,即使背景图片全黑时也是如此。

同样地，L_{white} 也受到了 LCD 背光亮度的限制。对比度描述了这些亮度之间的相对差异。但是，没有一个固定的定义来描述对比度，并且对比度可以用不同的方程来表示。式(6)为显示器对比度的一个常用公式：

$$C=\frac{L_{white}-L_{black}}{L_{white}} \tag{6}$$

在消费类设备中如何测量和报告对比度(如动态对比度、静态对比度等)有一定的复杂性，但就光感受而言，这个定义就足够了。需要注意的是，L_{black} 和 L_{white} 并非完全独立于显示器本身，该设备的环境光线会对这些值产生重大影响。例如，在完全黑暗的环境下，对比度通过式(6)精确定义。但是，考虑到在光照特别强烈的环境中显示器的光学特性必然不会吸收 100%的入射环境光，有些光会在观察者处反射回来。如式(7)所示，这种反射光降低了由此产生的对比度。

$$C=\frac{L_{white}-L_{black}}{L_{white}+\rho E} \tag{7}$$

其中，E 表示环境照度，ρ 表示显示器的反射系数。对比度对辨别视觉细节有显著影响，并且这种对比度与环境光线的关系解释了为什么在较暗的环境中阅读背光显示器更为容易，这也是将自适应亮度系统纳入移动设备的基础。自适应亮度系统使用环境光线传感器来帮助控制显示器的亮度：在昏暗的环境中，显示器会降低显示器的亮度，而在较亮的环境中，显示器会提高显示器的亮度。这些系统的最终目的是，显示器使用较少的功率，且避免了用户在昏暗环境下的眼睛疲劳，同时在明亮的环境中保持了更好的对比度。

因此，我们不仅关注某个物体的亮度，还关注其与其他物体的亮度差异，即亮度对比度。在不同的手机屏幕背景亮度下，不同的图片给人的舒适度不一样。我们通过亮度对比度 C 来衡量背光亮度与屏幕背景光之间的关系。

针对在计算机显示终端亮度对比度对视觉功效的影响，瑞典标椎化组织和 Leebeek 提出在 8∶1～10∶1 的对比度范围会引起最轻的视觉疲劳。

4.2　算法设计

在 Android 手机上，屏幕亮度值为 0～255 lux。根据实验，我们将室内的环境光亮度划分为两个段：环境光相对弱的休息地方和正常工作的地方。将室外环境也分两段：环境光强的晴天和环境光相对较弱的阴天。具体如式(8)所示：

$$L_B=\begin{cases}\dfrac{1-\rho BC}{C}, & 0\leqslant B<200\\ 27, & 200\leqslant B\leqslant 1000\\ 12.3\ln B+36.75, & 1000\leqslant B\leqslant 10000\\ 255, & B\geqslant 10000\end{cases} \tag{8}$$

但是，由于智能手机随时随地服务的特点，以及外界的光照强度不断改变，若为每个外界环境光照强度重新计算最佳的手机屏幕亮度，手机传感器则需要不断地获取外界的光照强度，从而增大手机的开销。为了避免手机的高开销，引入了 l_{avg} 的概念。l_{avg} 测量的是近段时间的平均亮度水平。如果从智能手机的光传感器上读取亮度的样本 l_{sam}，就可以获得 l_{avg}，如式(9)所示：

$$l_{avg}=\gamma l_{avg}+(1-\gamma)l_{sam} \tag{9}$$

其中，γ 为平滑系数，l_{sam} 为外界获取的亮度值。γ 越大，说明 l_{avg} 变化更加平稳。当 l_{sam} 有很大的改变时，才会重复计算手机屏幕亮度，从而降低开销。

综上所述，给出本文提出的基于人体视觉特性的手机屏幕亮度自适应调节算法的伪代码，如算法 1 所示。

算法 1　基于视觉特性的手机屏幕亮度自适应调节算法

```
Initialization:计算近段时间的平均亮度水平 l_avg,时间节点 t=1,2,
               3,…,N;
for t=1,2,3,…,MAX
  if l_avg在范围内
      不计算当前亮度值
  else
      获取当前外界环境亮度 B
    if 0≤B<200
      获取屏幕对比度 C
      根据式(8)计算手机屏幕亮度 L_B
    else if 200≤B≤1000
      根据式(8)计算手机屏幕亮度 L_B
    else if 1000≤B≤10000
      通过传感器获取外界环境亮度 B
      根据式(8)计算手机屏幕亮度 L_B
    else if B≥10000
      根据式(8)计算手机屏幕亮度 L_B
    end if
end for
```

4.3　算法评估

对于算法 1，我们开发了一个 Android 手机屏幕自适应亮度调节的 App 对该算法进行了主观评估。将该 App 安装到手机软件上，召集参加实验的 30 名学生对该软件进行满意度评估。

根据图 6 可以看出，用户满意度得到了很大的提升。用户最满意的是米色、白色以及绿色背景图片下的亮度；对于蓝色和紫色背景图片下的亮度，用户的反应一般；对于黑色的背景图片，大多数的用户满意度较低。

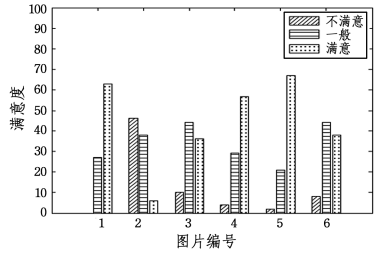


图 6　用户满意度的评估结果

Fig. 6　Evaluation results of customer satisfaction

结束语　本文采用主观评价的方法对室内外不同环境照度条件下的手机亮度值的设置进行了研究，为手机亮度自适应调节设计了相应的算法。通过 2.1 节的实验及其数据分析发现：1)现有的手机自适应亮度调节机制是以分段函数的形式进行调节的；2)现有的手机自适应亮度调节机制并没有完全满足用户的要求，用户的体验不尽人意。而 2.2 节的实验

(主观体验评估)表明:用户所需要的亮度远远低于现有机制所设置的亮度。因此,可以在现有设置的基础上降低手机屏幕的亮度(一定程度上可以节省手机的电量)。与此同时,根据人体视觉特性,本文设计了相应的算法,并对算法进行了评估,评估结果显示:1)用户的满意度大幅提升;2)用户对不同背景图片所需的屏幕亮度不一致,在强光环境下,用户更偏向于浅色图片,即用户更喜欢米色背景图片,而对黑色背景图片不满意;3)在背光与光照直射的环境下用户所需要的手机屏幕亮度也不相同。

当然,本文实验也存在一定的局限性:1)实验都是在 oppo 系列的手机上进行,而不同的安卓手机的自动亮度调节机制各不相同,不同的手机硬件配置也不一样;2)数据采样只涉及在校学生,而不同的社会个体的感觉不尽相同。

参 考 文 献

[1] GU L G, HAN F R. VDT operation and visual fatigue[J]. Ergonomics, 2004, 10(3): 58-60. (in Chinese)
顾力刚,韩福荣. VDT 作业与视觉疲劳[J]. 人类工效学,2004,10(3):58-60.

[2] GAO C S, TIAN H, CAI R T. Effect of VDT operation on visual function and visual ergonomics[J]. Ergonomics, 1996(3): 47-49. (in Chinese)
高传思,田华,蔡荣泰. VDT 作业对视觉功能及视觉工效的影响[J]. 人类工效学,1996(3):47-49.

[3] ZHU Z X. The Effect of Brightness and Contrast of Computer Display Terminal CRT on Visual Function[J]. Journal of Psychiatry, 1987, 19(3): 221-227. (in Chinese)
朱祖祥. 计算机显示终端 CRT 亮度对比度对视觉功能的影响[J]. 心理学报,1987,19(3):221-227.

[4] XU W, LIU W M. Experimental Study on Correct Recognition of the Brightness and Contrast Threshold of Fluorescent Screen (CRT) Color Characters under Different Background Brightness [J]. Psychological Science, 1992(2): 26-31. (in Chinese)
许为,刘为民. 不同屏面背景亮度下正确辨认荧光屏(CRT)颜色字符亮度对比度阈的实验研究[J]. 心理科学,1992(2):26-31.

[5] HELANDER M G, RUPP B A. An overview of standards and guidelines for visual display terminals [J]. Applied Ergonomics, 1984, 15(3): 185-195.

[6] SHIEH K K, LIN C C. Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 26(5): 527-536.

[7] HOU Z Q, HAN C Z, ZHEN L, et al. A Visual Model Based Edge Detection Threshold Selection Strategy[J]. Optoelectronic Engineering, 2004, 31(2): 59-62. (in Chinese)
侯志强,韩崇昭,郑林,等. 一种基于视觉模型的边缘检测阈值选择策略[J]. 光电工程,2004,31(2):59-62.

[8] GATTI F, ACQUAVIVA A, BENINI L, et al. Low Power Control Techniques For TFT LCD Displays[C]// International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis for Embedded Systems, CASES 2002. Greenoble, France, DBLP, 2002: 218-224.

[9] CHENG W C, PEDRAM M, et al. Power Minimization in a Backlit TFT-LCD Display by Concurrent Brightness and Contrast Scaling[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(1): 25-32.

[10] ZHONG L, JHA N K. Energy efficiency of handheld computer interfaces: limits, characterization and practice[C]// International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. DBLP, 2005: 247-260.

[11] CHENG L, MOHAPATRA S, ZARKI M E, et al. Quality-based backlight optimization for video playback on handheld devices [J]. Advances in Multimedia, 2007, 2007(1): 4.

[12] HE S, LIU Y, ZHOU H. Demo: Optimizing Smartphone Power Consumption through Dynamic Resolution Scaling[C]// International Conference on Mobile Computing & Networking. ACM, 2015: 27-39.

[13] CHANG N, CHOU I, SHIM H, et al. DLS: dynamic backlight luminance scaling of liquid crystal display[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2004, 12(8): 837-846.

[14] IRANLI A, FATEMI H, PEDGRAM M. HEBS: Histogram Equalization for Backlight Scaling[C]// Design, Automation and Test in Europe, 2005. IEEE, 2005: 346-351.

[15] LIN C H, HSIU P C, HSIEH C K. Dynamic Backlight Scaling Optimization: A Cloud-Based Energy-Saving Service for Mobile Streaming Applications[J]. IEEE Transactions on Computers, 2014, 63(2): 335-348.

[16] LIU Y, XIAO M, DONG M, et al. GoCAD: GPU-Assisted Online Content-Adaptive Display Power Saving for Mobile Devices in Internet Streaming[C]// International Conference on World Wide Web. International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016: 1329-1338.

[17] YAN Z, LIU Q, ZHANG T, et al. Exploring QoE for Power Efficiency: A Field Study on Mobile Videos with LCD Displays[C]// ACM International Conference on Multimedia. ACM, 2015: 431-440.

[18] SHIN D, KIM Y, CHANG N, et al. Dynamic Driver Supply Voltage Scaling for Organic Light Emitting Diode Displays[J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2013, 32(7): 1017-1030.

[19] DONG M, ZHONG L. Chameleon: A Color-Adaptive Web Browser for Mobile OLED Displays[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(5): 724-738.