arXiv:2302.02741v1 [cs.HC] 6 Feb 2023

自由形态用户界面的内容优化：挑战与机遇

Aziz Niyazov*, IRIT - 图卢兹大学，法国KAIXING ZHAO*, 西北工业大学软件学院，中国TAO XU, 西北工业大学软件学院，中国Nicolas Mellado, 法国国家科学研究中心（CNRS）- IRITLOIC BARTHE, IRIT - 图卢兹大学，法国Marcos Serrano, IRIT - 图卢兹大学，法国

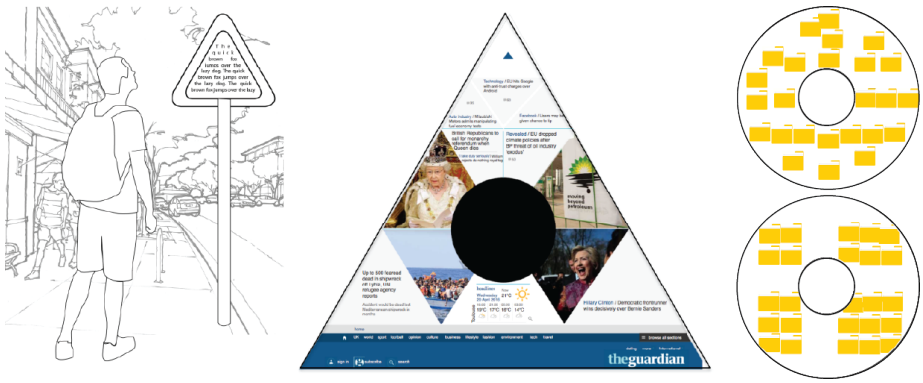

图 1. 以往自由形态界面项目的三个示例。左：展示如何使用自由形态界面在道路标志上显示文本的场景。 [8]；中：由设计师驱动的报纸网站向三角形显示屏的适配 [7]；右：动态贴花通过基于约束的优化方法，在非矩形显示屏上自动放置文件夹图标 [5]

尽管形状技术的最新创新使得几乎可以创建外形规格不受限制的显示屏，但当前的图形用户界面仍依赖矩形布局和内容。这种矩形传统阻碍了自由形态显示屏的发展；而在普适场景中，人们尤其需要自由形态显示屏，以便随时随地呈现交互式动态内容。自由形态用户界面挑战了矩形显示屏上占主导地位的布局传统，也带来了设计挑战，促使我们探索计算方法与用户界面生成和适配之间的联系。本文是一篇立场论文，回顾了自由形态用户界面内容优化方面的既有工作，并展望了未来的挑战与机遇。

CCS 概念： • **计算机系统组织** → **嵌入式系统**； 冗余；机器人； • **网络** → 网络可靠性。

附加关键词与短语：数据集、神经网络、视线检测、文本标注

*两位作者对本研究的贡献相同。

特此授权，可免费为个人或课堂使用而制作本作品的全部或部分内容的数字副本或纸质副本，前提是不得为营利或商业利益而制作或分发副本，并且副本须包含本声明及首页的完整引文。必须尊重本作品中由 ACM 以外的其他方拥有版权的组成部分。注明出处后，可以摘录。若要以其他方式复制、重新出版、发布到服务器或分发至列表，则须事先获得具体许可和/或支付费用。请通过 permissions@acm.org 申请许可。© 2022 计算机协会。稿件已提交至 ACM

ACM 引用格式：
Aziz Niyazov、Kaixing Zhao、Tao Xu、Nicolas Mellado、LoicBarthe 和 MarcosSerrano。2022。自由形态用户界面内容优化的挑战与机遇。收录于 。 ACM，美国纽约州纽约市，7页。https://doi.org/XXXXXXX.XXXXXXX

1 引言

图形用户界面是与计算设备交互最常见的方式，无论是台式电脑、智能手机、平板电脑，还是智能手表等可穿戴设备。图形用户界面的大多数原则（例如 WIMP交互）早在几十年前就已确立，此后几乎没有变化。移动触摸屏的出现可视为最近一次促使设计师和从业者重新思考图形用户界面的进展（例如调整图标尺寸以适应触控输入）。然而，我们目前正见证着显示技术的一场变革，市场上已出现曲面显示屏（例如折叠手机）和自由形态显示屏（例如圆形智能手表）。这些新型显示屏能够适应各种场景，对于实现随处显示内容的普适愿景尤为重要[6]。不过，这些发展带来了形态各异的显示屏，与在矩形图形用户界面上显示内容的主流传统相悖。

近期的人机交互研究创造了“自由形态用户界面”这一术语，用来指代具有非矩形外形的显示屏和界面 [5, 7, 8]。自由形态界面的早期研究主要关注在非矩形显示屏上呈现内容所涉及的感知问题。例如，研究者开展了受控实验，以探究文本可读性 [7], 、布局美感 [8]或对视觉搜索的影响 [9]。在这些初步探索验证了如何在自由形态界面上呈现内容的基本设计原则之后，一个迫切的问题随之出现：如何调整现有实践，以生成交互式动态内容；而这些实践大多基于为当前矩形用户界面设计的工具包。

本文首次探讨了如何应用计算方法，动态优化非矩形显示屏上的元素布局。随后，我们基于研究经验讨论自由形态用户界面的未来机遇，并阐述尚存的挑战，重点关注非矩形界面的三个重要方面：图形用户界面生成（组织）、适配和变形。这篇立场论文旨在分阶段总结相关内容，帮助研究者和从业者推进自由形态界面计算方法的研究议程。

2 以往工作：动态贴花

本节简要介绍了有关生成和调整自由形态用户界面的以往工作。我们的方法会根据界面几何和期望的布局属性（例如间距或对齐），以交互方式优化图形元素（即贴花）的摆放位置。每当显示属性发生变化时（例如显示屏形状改变，或有实体物体被移至显示区域上方），系统便会更新贴花的位置。

我们的贡献在于扩展了任意约束的应用方式：这些约束表示为代价函数 [3], ，并通过最小二乘法求解，使各约束之间达到折中。这使得人们能够为 GUI 布局优化设计新的专用约束。此外，这种方法还可以定义色域约束，从而确保贴花保持在显示区域内。

我们首先定义了一组理想的 GUI 布局属性：GUI 内容可见性、布局简洁性（即，如果各项对齐，布局就会更简洁）以及内容分组。随后，我们定义了一组新的约束，以保留这些属性。我们

遵循 Galitz 提出的布局简洁性指南，通过经验设计了这些约束 [2], Ngo等人[4]。在这些约束中，坐标和距离均以像素表示。

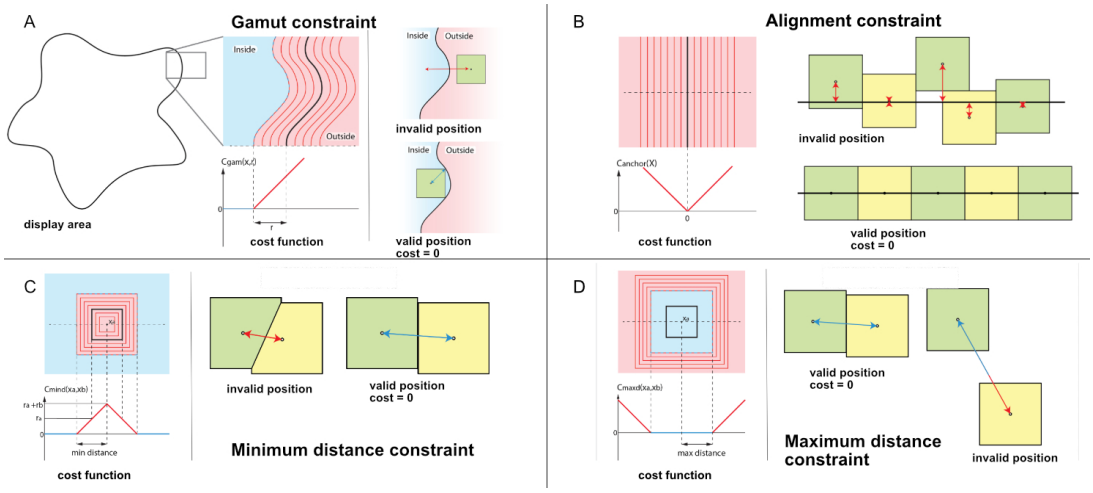

图 2. 我们的布局约束。对于每项约束，我们都展示了代价函数，以及根据贴花位置计算出的代价值。

色域约束。此约束旨在确保贴花位于显示区域（即色域）内。如果半径为 $r_i = n$ 像素的贴花位于显示区域内部，但距离边界不足 n 像素，则会受到惩罚（见图2-A）。为了能够快速评估动态变化的显示区域以及半径各不相同的贴花，我们计算显示区域边界的有符号距离场 $d_{\mathcal{S}}(\mathbf{x})$（内部为负，外部为正），并将色域约束$c_{\text{gam}}(\mathbf{x}, r)$定义如下：

$$c_{\text{gam}}(\mathbf{x}, r) = \begin{cases} e_{\text{step}} + d_{\mathcal{S}}(\mathbf{x}) - r & \text{if } d_{\mathcal{S}}(\mathbf{x}) - r > 0 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad \text{and} \quad d_{\mathcal{S}}(\mathbf{x}) = \begin{cases} |\mathbf{x} - \text{proj}_{\mathcal{S}}(\mathbf{x})|_2 & \text{if } \mathbf{x} \notin \mathcal{S} \\ -|\mathbf{x} - \text{proj}_{\mathcal{S}}(\mathbf{x})|_2 & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{1}$$

算子 $\text{proj}_{\mathcal{S}}(\mathbf{x})$将$\mathbf{x}$ 投影到显示区域 S 的边界上。e_{step} 是添加到超出色域位置的一个恒定误差项；在所有实验中，我们都使用了$e_{\text{step}} = 10$ 。

距离约束。我们提出了两种距离约束，旨在：（1）防止贴花重叠，以保持内容可见性；（2）促进贴花分组。**最小距离**约束（见图2-C）会对重叠的贴花施加惩罚。为了确保能够快速评估该约束，我们不失一般性地假设，贴花的形状可以近似为边长为 r_i 的轴对齐正方形框。因此，可以利用贴花中心之间的 L_1 距离，高效地计算重叠检测结果及其代价：

$$c_{\text{mind}}(\mathbf{x}_a, \mathbf{x}_b) = min\left(0, |\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b|_1 - (r_a + r_b)\right). \tag{2}$$

最大距离（见图 2-D）约束可确保属于同一组的贴花彼此保持邻近。与 c_{mind} 相比，我们关注邻近性，不希望偏向 x 和 y方向上的距离（见图 2-D）。因此，当贴花之间的 L2距离大于给定阈值 $d_{\max}$ 时，我们会对其进行惩罚：

$$c_{\text{maxd}}(\mathbf{x}_a, \mathbf{x}_b) = max\left(0, |\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b|_2 - d_{\max}\right). \tag{3}$$

对齐。锚线约束可确保属于同一垂直/水平线的贴花保持对齐，即使其中一个贴花发生移动也是如此（见图 2-B）。代价根据锚线 l 与属于标记为 $\mathbf{x}_k$ 的组的每个贴花 $\mathbf{X}$ 之间的距离计算，公式如下：

$$c_{\text{anchor}}(\mathbf{X}) = \sum_k \left|\text{proj}_l(\mathbf{X}_k) - \mathbf{X}_k\right|_2 . \tag{4}$$

贴花的任意组都可以关联多条线，这些线可以是垂直的、水平的，也可以两者兼有（例如形成网格）。视具体情境而定，线的位置可以是固定的（即在创建界面时定义坐标），也可以在显示属性发生变化时更新。

我们通过自动评估验证了这一方法，并随后通过用户研究予以确认。与基线方法（扭曲整个界面或遮挡内容）相比，动态贴花方法在保持内容对齐和分组的同时，改善了界面美学和内容可见性。



图3. 动态贴花的示例应用

动态贴花可以应用于各种场景。图 3 展示了若干不同情境下的示例：在自由形态咖啡桌上与休闲图片库交互，同时喝着一杯咖啡；结合墙面投影、虚拟便利贴和实体文档进行头脑风暴；打造能感知实体物体存在的个人增强工作空间；使用魔法桌面应用 [1] 扩展显示区域；在博物馆展览中进行能感知用户位置的图像地面投影；以及适应餐具的界面。

3 面向自由形态用户界面的计算方法

我们认为，这些前期工作为将计算机图形学方法和优化模型引入人机交互研究开辟了充满希望的新方向，可用于设计和实现新型自由形态图形用户界面。本节将探讨自由形态用户界面生成与优化面临的一系列潜在挑战和机遇。

3.1 自由形态用户界面生成与优化面临的挑战

- 缺乏关于布局属性的基础知识。与经过数十年设计和研究的传统矩形界面布局不同，自由形态用户界面的研究才刚刚开始受到关注

近年来。因此，该领域仍然缺乏基础知识，尤其是关于自由形态布局属性的知识。尽管初步研究已经探讨了在自由形态界面上显示文本 [7] 和布局内容 [8] 的影响，但这些研究仅探讨了有限的显示形状。可能的显示形状几乎是无限的，尤其是在考虑基于投影的系统时更是如此；在这类系统中，整体显示形状由可用的显示表面以及遮挡显示区域的实体物体所决定。

• 为各种形状生成界面。传统的矩形用户界面遵循一套统一的设计准则，例如 WIMP 界面。然而，当前自由形态用户界面的应用场景呈现出多种多样的界面和显示形状。因此，要推导出一套统一的设计要求非常困难。能够从一种显示形状中推断并归纳设计属性，再将其应用于另一种显示形状的计算方法，是解决这一问题最可行的方案。

• 美学度量指标。图形用户界面的美学特征或视觉上令人愉悦的构图，对内容感知和交互起着至关重要的作用。矩形屏幕的美学度量指标已有明确界定 [4]。然而，整体显示形状的改变以及由此对内容进行的调整，已被证明会影响感知到的美学效果。目前，人们对于如何将现有的界面度量公式调整至适用于自由形态界面，或是否需要引入新的度量指标，仍缺乏足够的认识。密度等部分度量指标可直接应用于自由形态显示屏，而平衡、对称性或简洁性等其他指标，在此类非矩形界面上可能会有不同的感知方式。要开发能够保留美学属性的计算方法，就需要定义美学度量指标。

• 图形用户界面实现挑战。与可借助成熟图形工具包开发的传统矩形界面不同，由于缺乏适配良好的方法，自由形态用户界面的开发面临挑战。在 Dynamic Decals 项目中，我们与计算机图形学专家合作，在像素级重新定义图形图标的概念。用户界面设计师和开发人员不应只是简单地使用预定义的图形元素（例如按钮、小部件、面板），还需要能够理解并开发新方法，以在不同粒度层级上重新定义界面的图形外观。然而，当前的用户界面开发人员通常并不具备计算机图形学方面的专长。自由形态界面的开发将要求对未来用户界面开发人员的培训进行重大变革。

3.2 自由形态用户界面发展带来的机遇

为应对学术界和业界在自由形态用户界面方面面临的各种挑战而开展的研究，可以为人机交互社区带来一系列新的机遇。

• 将内容优化推广至人机交互领域。自由形态用户界面的特定需求，要求采用计算方法，例如基于约束的优化进行动态布局适配。在自由形态界面领域开展的研究，日后可以推广至其他类型的显示屏或界面。例如，沉浸式可视化可以被视为自由形态显示屏的一种特例，其中可视化内容可以放置在三维环境中的任意位置。我们针对二维自由形态界面内容优化所采用的方法，可以扩展至此类三维环境，从而在用户周围合理布局内容，同时避免遮挡相关的现实世界物体。

• 拓展我们对交互式优化的认识。设计能够适应情境因素（例如当前任务、环境或用户感知）的界面是一项非常复杂的工作。在当前的方法中，内容会

通常按照某种优化方法分配到固定位置，之后再由用户手动调整。让用户能够调整优化本身，可以使内容优化更加灵活，并可扩展到其他交互式应用。

- 开展跨学科研究。如前所述，开发自由形态用户界面十分复杂，通常需要多学科知识。因此，这一领域为开展跨学科研究、汇聚人机交互之外的不同社群提供了非常有趣的机会。首先，需要运用计算机图形学方法重新定义这些用户界面的图形表现。其次，需要借助认知科学方法理解自由形态用户界面带来的认知影响（信息获取、视觉搜索、空间记忆）。最后，要生成和调整自由形态用户界面，则需要机器学习等计算方法或基于约束的优化。

4 结论

本文基于我们在该领域以往的研究经验，探讨了自由形态用户界面面临的挑战及未来机遇。研究挑战包括：缺乏关于布局属性的基础知识、形状种类繁多、缺乏美学度量指标，以及实现自由形态图形用户界面的复杂性。我们还探讨了应对上述挑战所带来的两个新兴机遇。首先，我们认为，提出的解决方案可以应用于人机交互的其他领域，例如沉浸式界面。其次，我们认为，自由形态用户界面研究为开展跨学科研究提供了非常有趣的机会。我们希望，通过探讨自由形态用户界面的挑战与机遇，能够激励更多研究人员投身这一研究领域，并推动其产业化发展。

5 致谢

本研究得到 ANR JCJCPERFIN 资助（ANR-18-CE33-0009）。感谢本文审稿人提出的中肯意见和建议。

参考文献

[1] Xiaojun Bi、Tovi Grossman、Justin Matejka 和 George Fitzmaurice。2011。《Magic Desk：将多点触控表面引入桌面工作》。载于《SIGCHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（加拿大不列颠哥伦比亚省温哥华）（CHI '11）。计算机协会，美国纽约州纽约市，2511–2520。https://doi.org/10.1145/1978942.1979309[2] Wilbert O. Galitz。2007。《用户界面设计实用指南：图形用户界面设计原则与技术导论》。John Wiley & Sons, Inc.，美国。[3] Nicolas Mellado、David Vanderhaeghe、Charlotte Hoarau、Sidonie Christophe、Mathieu Brédif 和 Loic Barthe。2017。《受约束的调色板空间探索》。《ACM图形学汇刊》36卷第4期，第60篇文章（2017年7月），14页。https://doi.org/10.1145/3072959.3073650[4] David Ngo、Lian Teo 和 John Byrne。2003。《界面美学建模》。《信息科学》152卷（2003年6月），25–46。https://doi.org/10.1016/S0020- 0255(02)00404-8[5] Aziz Niyazov、Nicolas Mellado、Loic Barthe 和 Marcos Serrano。2021。《动态贴花：使用受约束的可变形图形元素构建普适自由形态界面》。《ACM人机交互会议论文集》5卷，ISS期，第493篇文章（2021年11月），27页。https://doi.org/10.1145/3488538[6] Claudio S. Pinhanez。2001。《全域显示投影仪：用于创建普适图形界面的设备》。载于《第三届普适计算国际会议论文集》（美国佐治亚州亚特兰大）（UbiComp '01）。施普林格出版社，柏林、海德堡，315–331。[7] Marcos Serrano、Anne Roudaut 和 Pourang Irani。2016。《非矩形显示屏上的文本可读性研究》。载于《2016年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（美国加利福尼亚州圣克拉拉）（CHI '16）。ACM，美国纽约州纽约市，498–508。https: //doi.org/10.1145/2858036.2858057[8] Marcos Serrano、Anne Roudaut 和 Pourang Irani。2017。《非矩形显示屏上图形元素的视觉构成》。载于《2017年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（美国科罗拉多州丹佛）（CHI '17）。计算机协会，美国纽约州纽约市，4405–4416。https://doi.org/10.1145/3025453.3025677

[9] Florine Simon、Anne Roudaut、Pourang Irani 和 Marcos Serrano。2019年。《非矩形界面上的信息查找》。载于 *2019*年*CHI*计算机系统中的人为因素会议论文集 （英国苏格兰格拉斯哥）（*CHI '19*）。ACM，美国纽约州纽约市，论文编号 102，共 8 页。
https://doi.org/10.1145/3290605.3300332