arXiv:2304.00411v1 [cs.HC] 1 Apr 2023

SolefulTap：使用地板式冲击显示器增强踢踏舞体验

Tomoya Sasaki*东京大学 日本东京
sasaki@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

Narin Okazaki*东京大学 日本东京
narin@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

Takatoshi Yoshida 东京大学 日本东京 taka_y@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

Alfonso Balandra 东京大学 日本东京
alfonso@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

Zendai Kashino 东京大学 日本东京
kashino@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

Masahiko Inami 东京大学 日本东京
inami@star.rcast.u-tokyo.ac.jp



图1：（a）SolefulTap 会根据用户的踏步动作，通过地板式冲击显示器提供敲击声和触觉刺激。（b）两名用户可以借助脚底的感觉，在无需直接看到彼此的情况下同步进行踢踏舞。（c）通过记录表演数据，用户可以通过视觉、听觉和触觉刺激，以多模态方式学习踢踏舞步伐。

摘要

我们提出了 SolefulTap，旨在带来新颖的踢踏舞体验。用户可以通过自己双脚的感觉，感受自己仿佛正在进行踢踏舞，或欣赏一场踢踏舞表演。SolefulTap 采用一种称为步伐增强的方法，为用户提供视听触觉反馈，根据用户简单的踏步动作产生冲击。我们的原型采用地板式冲击显示器，由用于检测用户踏步的压力传感器和通过冲击产生反馈的螺线管组成。通过初步用户研究，我们确认该系统能够让未经训练的用户体验踢踏舞。这项研究作为一个案例研究，为理解响应式环境如何影响人类的身体表达能力以及所体验的感觉提供了洞见。

CCS 概念

• **以人为中心的计算** → **触觉设备**；交互设计；• **计算机系统组织** → 实时操作系统；• **硬件** → 设计规则检查。

关键词

足部-地板交互、足底、触觉、输入/输出巧合、反应式环境

ACM参考格式：
Tomoya Sasaki、Narin Okazaki、Takatoshi Yoshida、Alfonso Balandra、Zendai Kashino 和 Masahiko Inami。2023年。SolefulTap：利用地板式冲击显示器增强踢踏舞体验。载于智能音乐接口：当交互式辅助与增强技术遇见乐器，*2023*年*3*月*12*日，英国格拉斯哥。ACM，美国纽约州纽约市，5页。

*两位作者对本研究的贡献相同。

本作品采用知识共享“署名-相同方式共享 4.0 国际”许可协议授权。

*IMI Workshop'23，2023*年*3*月*12*日，格拉斯哥，英国©2023 版权所有归所有者/作者所有。

1 引言

踢踏舞是一种舞蹈表达形式，舞者穿着踢踏舞鞋用脚敲击地面，以此产生打击乐般的声音。通过踢踏舞，舞者不仅以视觉方式展现自己的身体动作，还通过敲击地面等与环境互动，以听觉方式创造节拍。在地面上跳踢踏舞时，舞步除了发出声音，还会给舞者的脚底带来触觉冲击感。因此，踢踏舞可被视为一种舞蹈形式，舞者通过脚与地面的互动，多模态地运用视觉、听觉，

以及触觉感受来表达自我。本研究旨在增强踢踏舞体验中的人体能力。

我们大致可以将增强舞蹈表演的方法分为两类：一类是将设备附着在舞者的身体或道具上，另一类是将系统嵌入舞者表演的舞台中。例如，前者使用可穿戴技术 [3, 4], ，后者使用增强现实技术 [2, 7]。根据舞蹈的类型和构成，这些方法各有优缺点。在踢踏舞中，舞者穿着脚底带有金属的特殊鞋子，通过敲击地面进行表演。换言之，踢踏舞的特点在于，舞者使用穿戴在身体上的特殊道具与舞台进行互动。增强踢踏舞将是人体增强研究中一个有趣的课题，因为它关注通过身体动作实现道具与环境之间的互动。

在本研究中，我们提出了“SolefulTap”，通过关注脚底与地面之间的互动，为踢踏舞提供全新的踢踏舞体验（图 1）。这一概念采用了名为“步伐增强”的方法：在嵌入传感器和致动器的地面上，根据舞者的步伐产生冲击。作为基于该概念的原型，我们开发了一种地板式设备，使用多个螺线管产生冲击。此外，我们通过演示该原型开展了初步用户研究。以踢踏舞为例，我们构建了一个能够响应用户身体动作并与其互动的环境，探索创造新颖舞蹈表演及其观看体验的可能性。通过这一研究，我们讨论了基于身体与环境之间互动的人体增强潜力。

2 SOLEFULTAP

SolefulTap 通过生成来自地板的冲击，让用户在踏步动作时感受到脚底的冲击，从而提供一种新颖的踢踏舞体验。这些冲击为用户带来听觉和触觉感受。我们将这种方法称为步伐增强，它使用配备传感器和致动器的地板式冲击显示器。系统仅使用地板式冲击显示器，便可通过用户的身体动作检测踏步，并将地板上的踢踏冲击呈现给用户的脚底。我们可以设计冲击模式，例如每次踏步输入对应多次冲击，或在不同于用户输入位置的位置产生冲击。这些冲击可以实时显示，也可以记录输入信息，以便离线回放。此外，用户无需佩戴任何特殊设备即可跳踢踏舞。例如，他们可以穿着运动鞋或赤脚跳舞。通过为每种应用设计步伐增强的冲击模式，SolefulTap 能够提供多种新颖的踢踏舞体验。

SolefulTap 根据用户数量和冲击模式的组合，为踢踏舞体验提供了多种可能的应用场景。我们将用户分为表演者和观众，考虑了从单人到多人的情况。本文介绍四种具体的应用场景：独舞、群舞、教学和剧场 （图 2）。

独舞 — 这是 SolefulTap 的基本形式，会根据单个表演者的步伐实时在脚底产生冲击

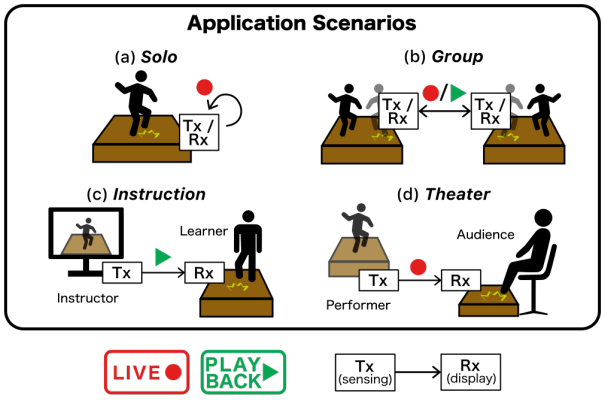


图 2：SolefulTap 的四种应用场景：(a) 独舞、(b)群舞、(c) 教学和(d) 剧场。信息可以从 Tx 实时传输到 Rx，也可以离线回放录制的数据。

。通过预先设置多种冲击模式，可以仅用一个步伐生成各种敲击声和触觉刺激。这种输入输出同步交互设计使表演者能够表现踢踏舞套路，仿佛这些冲击是表演者自身步伐的一部分，尽管实际上它们来自设备（图 1 (a)）。

群舞 ——使用多个设备，表演者可以通过实时双向传输信息，与远方的舞伴一起跳踢踏舞（图 2 (b)）。例如，两位表演者一起跳踢踏舞时，可以通过冲击显示的听觉和触觉感受感知舞伴的舞步，即使舞者无法直接看到彼此，也能步调一致地共舞（图 1 (b)）。

教学 ——通过记录一位经验丰富的表演者的舞步，并在离线状态下将录像与其他视频画面一同回放，初学者便可以学习踢踏舞（图 2 (c)）。踢踏舞的舞步变化繁多，由于舞步动作很快，仅靠播放视频很难理解正确的步伐时机和位置。通过在与教师步伐位置对应的点位生成冲击，学习者可以多模态地感知舞步。此外，还可以利用录制数据的实用功能，例如慢速播放和倒带（图 1 (c)）。

剧场 — 通过将舞台上检测到的表演者脚步传输到多个设备，供观众观看，该系统可用作踢踏舞欣赏工具（图 2(d)）。通常，当舞台距离较远时，观众只能通过视听方式欣赏表演。借助 SolefulTap，观众还可以根据表演，在自己的脚下感受到触觉。除此之外，通过使用多个设备呈现单个表演者脚步产生的冲击，可以实现放大效果，模拟众多表演者同时跳踢踏舞的场景，尽管实际表演者只有一人。

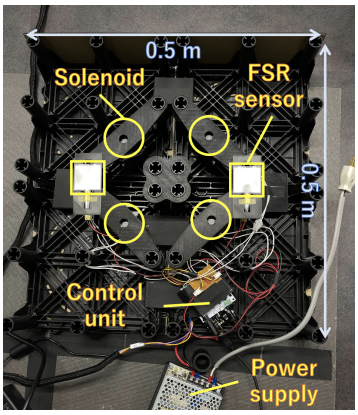


图3：设备的硬件组件及尺寸（设备背面）

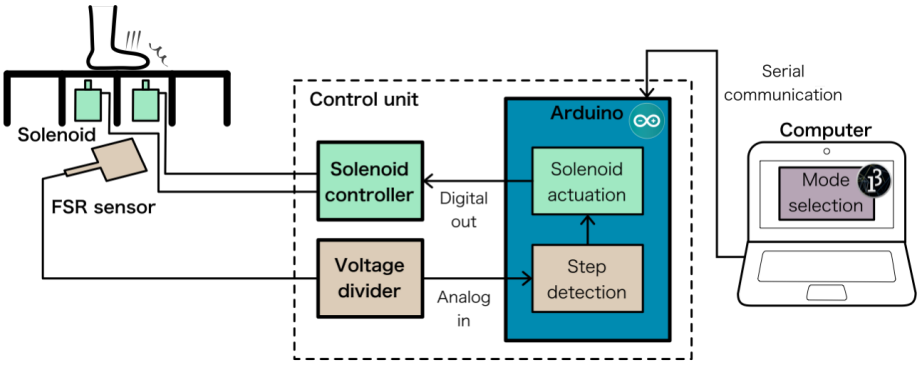


图4：系统配置示意图（设备部分以右侧视图显示。）

3 实现

我们将按照硬件模块和控制软件的顺序，介绍用于步伐增强的原型地板式设备。

我们将地板式装置设计为模块化结构。设备框架由地板砖（T-100R，Fukuvi Chemical Industry Co., Ltd.）铺设而成。每块地板砖的尺寸为 0.5 m（宽）× 0.5m（深）× 0.1m（高）。压力传感器和螺线管分别用于步伐检测和冲击显示，并安装在设备底部，如图 3 所示。四个螺线管（CB12500770，Takaha Kiko Co., Ltd.）由驱动电路（SB-6565- 01，Takaha Kiko Co., Ltd.）控制，供电电压为开关电源提供的 24 V。安装了两个压力传感器（FSR406，Interlink Electronics Inc.），分别位于左右两侧。与压力传感器相连的分压电路电阻设为 1kΩ，以防止传感器读数饱和。使用微控制器（Arduino Uno）控制传感器和驱动电路，并与个人电脑连接。

图 4 展示了从步伐检测到冲击显示的系统配置示意图。压力传感器检测用户的步伐，而螺线管则受控产生为各应用设计的冲击模式。对于此原型，我们根据第 2 节所述的应用场景，实现了*独舞* 模式和*剧场* 模式。个人电脑与 Arduino 通过串行通信连接，并可通过个人电脑切换模式。

用于步伐检测的压力传感器数值以 5ms 的采样率作为模拟输入读取。随后，我们计算相邻传感器读数之间的差值 δ_t（$= S_t - S_{t-1}$），其中S_t和 S_{t-1} 分别为当前传感器数值和前一次传感器数值。接着，我们将 δ_t 用作基于 z 分数的方法 [1] 的输入，以检测压力传感器的信号峰值。我们对左右传感器输入应用相同的算法，以检测信号并确定用户迈步时使用的是哪只脚。

通过驱动阶梯地板相应一侧的螺线管来实现冲击显示。驱动器由 Arduino 的数字输出（开/关）控制，输出为 ON 的数字引脚所对应的螺线管会被驱动。

可以在个人电脑上选择螺线管驱动规则，指定螺线管和冲击显示模块产生的冲击次数。对于我们的原型，螺线管的冲击次数设为一次、两次或三次。单次冲击时，用户迈步时，位于前侧的螺线管会驱动一次。两次冲击时，螺线管按从前到后的顺序依次驱动；三次冲击时，则按从前到后再到前的顺序依次驱动。每步多次冲击之间的时间间隔设为 90 毫秒。

4 初步用户研究

我们通过多次演示评估了 SolefulTap 的性能，并将其作为一项初步用户研究。每场演示面向 13 名参与者（其中一人有踢踏舞经验），我们收集了他们的口头反馈。在这些参与者中，另有四名男性和两名女性（年龄为 22–41 岁，平均年龄为 27 岁）完成了问卷调查。所有参与者都先体验了 *独舞* 场景，随后受邀自由尝试其他场景，包括冲击模式选择。

首先，我们报告问卷结果。我们要求参与者针对“您是否感觉到所受到的冲击位置存在任何不协调感？”这一问题，从两个选项（“感觉到”或“没有感觉到”）中选择一个。所有参与者均回答“没有”。这表明，左右步伐的冲击位置一致，以及响应时间，已经足够。对于“您是否感觉自己在跳踢踏舞？”这一问题，参与者需要使用 7 点李克特量表（1 = 完全没有，7 = 非常强烈）作答，其中 83.5% 的参与者给出了 4 分或更高的评价（平均值为 5 分，中位数为 5.5 分）。接下来，我们描述通过口头方式获得的印象和意见。关于冲击显示本身的机制，一名参与者在首次尝试该设备、且事先未被告知 SolefulTap 的概念后评论说：“这就像在跳踢踏舞。”关于每一步产生的冲击次数，许多参与者表示，与只产生一次冲击相比，产生两次或三次冲击时体验更加愉快，也让他们更有跳踢踏舞的感觉。综上所述

问卷结果表明，原型的冲击显示所产生的听觉和触觉感受，使参与者回想起自己跳踢踏舞的经历。

除上述内容外，通过这次演示获得的评论中还涉及两个有趣的话题。第一，是参与者所评论的原型表达变化问题。踢踏声的力度和音色是踢踏舞表达的一部分，有必要反映表演者的意图。因此，除了螺线管产生的冲击次数外，还应加入电磁螺线管驱动模式的参数，例如对强度进行调节。此外，传感器还应准确检测踏步动作。控制系统需要能够响应用户输入，例如踏步力度的轻微变化或渐进变化。表演者可以根据踏步的强度和节奏，对冲击模式进行精细控制，从而有助于实现更加多样的表达。第二个问题源于一位参与者关于身体位移感的评论。该参与者表示，在体验过<style id='3'>独舞 模式后切换到剧场 模式时，感觉身体的一部分仿佛发生了位移。切换模式时，我们停止向参与者在独舞 模式下所获得的部位提供冲击，并将冲击提供给观众一侧处于视觉和听觉距离内的模块。我们认为，这导致参与者失去了对自身踏步动作的反馈感，同时，参与者在不同的位置感知到了冲击，因此产生了身体仿佛发生位移的感觉。

总之，通过初步用户研究，我们确认所提出的方法能够正常运作，并能让没有体验过踢踏舞的人回想起相关体验。不过，有经验的参与者对表达方式的多样性提出了意见。此外，研究结果表明，步伐增强能够带来身体位移感，而这种感受在常规踢踏舞表演中并不存在。

5 讨论

基于 SolefulTap 原型的制作以及初步用户研究的发现，接下来我们将讨论步伐增强的设计、其可扩展性，以及我们对人体增强领域的贡献。

首先，关于步伐增强的设计，我们确认，对于单次步伐输入，显示多个连续的冲击能够为没有经验的用户带来踢踏舞体验。然而，就为有经验的用户提供灵活表达而言，这一设计存在局限。因此，有人提出，步伐增强在独舞 模式下所带来的益处，应当因没有经验和有经验的用户而有所不同。关于探索踢踏舞中的新颖表达，可以为有经验的舞者考虑以下两个未来研究方向。首先，没有踢踏舞经验但具有其他舞蹈形式经验（如街舞）的人，可以使用独舞 模式，将两种舞蹈技巧的表达结合起来。其次，有经验的踢踏舞者可以使用群舞 或剧场 模式，放大自身的表达。这两个方向都可以通过改进步伐增强和地板式显示器的设计来实现，同时不限制舞者自身的身体表达

通过改进步伐增强和地板式显示器的设计，同时不限制舞者自身的身体表达。

接下来，关于 SolefulTap 的可扩展性，正如原型所示，所提出的系统采用模块化设计，因此具有可扩展性。通过铺设大量模块，该系统可应用于舞台或音乐厅礼堂等大面积场所；Yoshida 等人 [8] 提出了使用地板砖的模块化地板传感系统。在舞台上使用该系统，可以实现更多样的舞蹈表达，例如在宽阔空间中移动，或由多人同时表演舞蹈。在礼堂中，许多观众可以以剧场 模式欣赏表演。该系统还可以与 Shibasaki 等人的方法 [6] 或其他可穿戴技术相结合，以增强舞蹈表达。我们相信，这些特性将使我们能够探索更多样的新颖踢踏舞体验。

最后，作为本研究对人体增强的贡献，我们提出这样一种观点：人类能力并非属于个人，而是在与他人及环境的关系中形成的。例如，关于运动能力，哲学家梅洛-庞蒂曾指出："为了使我们能够将身体移向某个物体，该物体必须首先存在于我们的意识之中" [5]。也就是说，人的运动能力不仅取决于个人意志，也受到环境因素的影响。本研究提出的系统可以概括为"一个通过增强身体运动来拓展人类自我表达的可能性，并重构人与他人之间关系的环境"。舞蹈是一种展现人类表达的身体活动，而我们的系统旨在增强这种表达，同时不在舞者身上安装任何设备。我们相信，提供一个从环境出发实现增强的具体案例，将为未来的人类增强研究带来启发。

6 结论

我们提出了 SolefulTap，它通过地板式冲击显示器实现步伐增强，为踢踏舞带来全新的体验。步伐增强通过响应用户的步伐向其提供视听触觉反馈来实现。该反馈由一组螺线管敲击地板表面产生。SolefulTap 也体现了一种人体增强方法，侧重于人体与环境之间的互动，具体而言，是脚底与地板之间的互动。尽管用户身上没有穿戴任何设备，我们的方法仍能借助环境的响应，带来一种仿佛用户正在跳踢踏舞的身体表达。因此，我们的研究探索了通过与响应式环境互动实现新颖身体表达的形式。我们希望，这一观点能为人体增强领域中提升人类能力的方法带来更多元的思路。

致谢

本项目由日本 JST ERATO JIZAI BODY 项目（JPM-JER1701）支持。

参考文献

[1] J.P.G. van Brakel。2014年。使用 z 分数的稳健峰值检测算法。https://stackoverflow.com/questions/22583391。（访问日期：2023年2月16日）。

[2] A. Clay、N. Couture、L. Nigay、J. B. de la Rivière、J. C. Martin、M. Courgeon、M. Desainte-Catherine、E. Orvain、V. Girondel 和 G. Domengero。2012年。增强现场舞蹈表演的交互与系统。载于 *2012 IEEE* 混合现实与增强现实国际研讨会——艺术、媒体与人文（*ISMAR- AMH*）。IEEE，美国佐治亚州亚特兰大，29–38。https://doi.org/10.1109/ISMAR-AMH.2012。6483986[3] R. Izuta、T. Terada、Y. Yanagisawa、M. Fujimoto 和 M. Tsukamoto。2019年。舞蹈表演 LED服装的设计指南。*Designs* 3，4（2019），51。https://doi.org/ 10 3390 3040051 。/designs P. Karpashevich、E. Hornecker、[4] M. Honauer 和 P. Sanches。2018年。重新诠释施莱默的《三元芭蕾》：用于不可思议动作的交互式服装。计算机协会，美国纽约州纽约市，1–13。https: //doi.org/ 10 1145 3173574 3173635 。/。莫里斯·梅洛-庞蒂和 Colin Smith。1962年。[5]《知觉现象学》。第2012卷。Routledge，伦敦。

[6] M. Shibasaki、Y. Kamiyama 和 K. Minamizawa。2016年。为听障人士设计触觉反馈系统，以体验踢踏舞。载于第*29*届用户界面软件与技术年会论文集（日本东京）（*UIST '16 Adjunct*）。计算机协会，美国纽约州纽约市， 97 99 10 1145 2984751 2985716 – 。https://doi.org/ 。/ 。F. [7] Sparacino、G. Davenport 和 A. Pentland。2000 。表演中的媒体：用于舞蹈、剧场、马戏和博物馆展览的互动空间。*IBM Systems Journal* 39，3.4（2000年），479–510。https://doi.org/10.1147/sj.393.0479[8] Takatoshi Yoshida、Narin Okazaki、Ken Takaki、Masaharu Hirose、Shingo Kitagawa 和 Masahiko Inami。2022年。Flexel：用于房间尺度触觉感知的模块化地板界面。载于第*35*届*ACM*用户界面软件与技术年会论文集（美国俄勒冈州本德）（*UIST '22*，文章*24*）。计算机协会，美国纽约州纽约市，1–12。https://doi.org/10.1145/3526113. 3545699