

キーボード上における2つのキーの連続押下を 開始符号とする操作手法

高田 峻介^{1,a)} 志築 文太郎² 高橋 伸²

概要：QWERTY 配列の物理キーボードのみを用いたポインティング手法を示す。提案手法においてポインティング操作は、ユーザがキーボードの一つまたは複数のキーを押下することにより行われる。そのため本手法は、文字入力操作状態と、ポインティング状態の切替を必要とする。我々は、この切替を行うために、F キー、J キーを連続して押下し、その後 J キー押下を保持したまま F キーから指を離すという開始符号を考案した。我々はまず、この開始符号が普段の文字入力においてどの程度の頻度にて発生するか計測するために、5 名を対象に 1 週間の調査実験を行った。その結果から得られた F キー、J キーが連続して押下された際の、それぞれのキーの押下時間をもとに、開始符号の F キー、J キーの押下時間の設計を行った。その後、物理キーボードを用いたポインティング操作の使用感評価を行った。

1. はじめに

コンピュータへの入力インタフェースとして、キーボードおよびマウス、トラックパッド等のポインティングデバイスが併用されることが多い。しかしながら、これらを併用するには、両デバイスを設置するための領域が必要となる。また操作の切替のためにデバイスを持ち替えないし手を移動する必要もある。

そこで我々は、既存の QWERTY 配列の物理キーボードのみを用いたポインティング手法を示す。提案手法においてポインティング操作は、ユーザがキーボードの一つまたは複数のキーを押下することにより行われる。提案手法は物理キーボードのみを用いるため、他デバイスを併用する場合に比べ設置に必要な面積が小さく、かつデバイスの持ち替えを必要としない点において優れている。

ただし、物理キーボードを用いたポインティング操作と普段の文字入力操作とは競合する。そこで我々は、F キー、J キーを連続して押下し、その後 J キーを押下したまま、F キーから指を離すという一連の操作をポインティング操作の開始符号とした。F キー、J キーは物理キーボードのホームポジションに手を置いた際に、人差し指が触れるキーで

あるため、ユーザはこの開始符号を入力しやすいと考えられる。また、F キー、J キーには突起が付与されているため、ユーザは突起の触覚フィードバックを手掛かりとした eyes-free 操作が可能である。

今回、我々はこの開始符号が普段の文字入力時にどの程度発生するか計測するために、5 名を対象に 1 週間のキーロガーを用いた調査実験を行い、開始符号の設計を行った。その後、物理キーボードを用いて開始符号の入力およびポインティング操作を行うという評価実験を行った。本稿においてはこれらについて報告する。

2. 関連研究

ソフトウェアキーボード上にてジェスチャ操作を行う手法が提案されてきた。Kristensson ら [7] はソフトウェアキーボードを用いて、Ctrl キーを開始点とし、O キーを経由し、特定のキーを終了点とするなぞり操作を用いてジェスチャ操作を行っている。Beyond QWERTY [4] は、マルチタッチ検出が可能なタッチパネル上にて、左手の五指がタッチパネルに触れている際に、右手の一本指を用いてジェスチャ操作を行っている。また、同様にソフトウェアキーボード上の複数のキーを連続してなぞった際の軌跡を文字入力に用いる手法がいくつか提案されている [2,12]。これらの手法と異なり、我々の提案手法は物理キーボードを用いている。物理キーボードを用いることにより、ユーザが触覚フィードバックを得ることができるため、eyes-free 操作が可能となる。また Hoggan ら [5] は、文字入力時に触覚フィードバックを与えることにより、触覚フィードバック

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

a) rtakada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

クが無い場合に比べ、入力精度および速度が向上すると指摘している。

物理キーボード上におけるポインティング操作およびジェスチャ操作を検出する試みも多く研究されている。FlickBoard [11] は物理キーボード上にタッチセンサを組み込んだシリコンカバーを搭載し、キー表面上におけるユーザのジェスチャ操作認識を行っている。Surfboard [6] および Keyboard Clawing [8] はマイクを用いて物理キーボード表面をなぞった操作を認識し、ジェスチャ操作を行っている。MéTamorphe [1] は物理キーボードのキー自体をソレノイドを用いて隆起させ、隆起させたキーのキートップ側面の押下を操作に利用している。Taylor ら [10] は物理キーボードの各キーの隙間にフォトリフレクタを埋め込み、物理キーボード上におけるユーザの空中ジェスチャの認識を行っている。Dietz ら [3] は各キーの押下圧力を計測できる物理キーボードを開発し、ユーザの押下圧力に基づいて文字サイズを変えるインタラクション手法を設計している。これらの手法と異なり、我々の提案手法は物理キーボードのキーの押下情報のみを利用するため、追加のセンサを必要としない。

GestKeyboard [13] は複数のキーを次々に押下する操作を用いてジェスチャ入力を行う手法である。GestKeyboard は文字入力およびジェスチャ入力の入力特性を利用することにより、最大 200 ms 以内かつ 95% 以上の精度にてキー入力とジェスチャ入力の識別が可能である。一方、本研究は 2 つのキーを連続して押下する操作に基づく開始符号を用いることにより、高精度に、普段の文字入力操作からポインティング状態への切替を行う。

3. 提案手法および実装

我々は物理キーボード上の 1 つまたは複数のキーを押下することによりポインティング操作を行う手法を示す。一つの物理キーボードを用いて、文字入力およびポインティング操作を行うためには、文字入力状態とポインティング状態の切替を必要とする。そこで、F キー、J キーの順に連続して押下し、その後 J キーを押下したまま、F キーから指を離すという一連の操作を開始符号とし、これをポインティング状態のトリガーとして用いる手法を考案した。以下に提案する操作手法を述べる。

3.1 開始符号

我々の提案手法では、ユーザは物理キーボード上の 1 つまたは複数のキーを押下することによりポインティング操作を行う。ポインティング状態と文字入力状態との明示的な入力の切替として、図 1a の様に F キー、J キーの順に連続して押下し、その後図 1b のように J キーを押下したまま、F キーから指を離すというものである。また、押下している J キーから指を離すことにより、ポインティング状

態から再び文字入力操作状態に戻る。

提案する開始符号は、ユーザが物理キーボードのホームポジションに指を置いた際に人差し指が触れるキーを用いているため、入力しやすいと考えられる。また、F キーおよび J キーには突起が付与されているため、ユーザは突起からの触覚フィードバックを手掛かりとした eyes-free 操作が可能となる。



図 1 提案する開始符号およびポインティング操作の操作手順

3.2 ポインティング操作

開始符号入力後、ユーザが J キーを押下し続けている間、ポインティング状態が続く。ポインティング状態における物理キーボード上の各キーの役割を図 2 に示す。カーソル操作のために、物理キーボード上の左手が置かれる領域をポインティング操作領域とした。また、J キーを押下し続けている間、ユーザは右手の中指および薬指を自由に動かすことができるため、これらの指を用いて押下しやすい I キーおよび K キーを左クリック用のキー、O および L キーを右クリック用のキーとして割り当てた。



図 2 ポインティング操作入力状態時における各キーの役割

ポインティング状態において、ユーザはポインティング操作領域のキーを一つもしくは複数押下することにより、カーソルの移動を行うことができる。押下したキーとカーソルの移動量の関係を図 3 に示す。移動量は押下しているキー群の重心座標およびポインティング操作入力領域の重心座標に基づいて決定される。これらの重心座標を用いて図 3b に示すように x 軸方向および y 軸方向の移動量 dx および dy を算出した。この dx および dy に係数を乗じた値をカーソルの移動量とした。

4. 実験

文字入力および我々が提案するポインティング操作を一つの物理キーボード上にて行う手法の、開始符号の妥当性の検討および、操作感の評価を行うため 2 つの実験を行った。

4.1 実験 1: キーロガーを用いた開始符号発生頻度調査

我々が提案する開始符号である、F キー、J キーの順の連続した押下が、普段の文字入力操作においてどの程度の頻度にて発生するかキーロガーアプリケーションを用いて調査を行った。また、F キーおよび J キーが同時に押下された際の時間をもとに、普段の文字入力操作と競合しない開始符号の設計を行った。以下に実験設計、結果および考察を述べる。

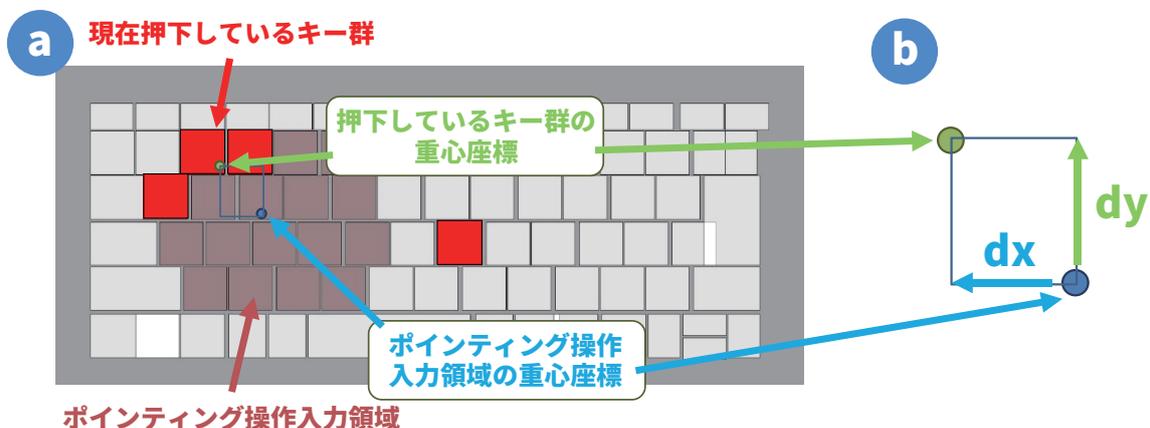


図 3 ポインティング状態時におけるカーソル移動量決定のための座標

4.1.1 実験設計

調査は研究室内の 5 名の被験者 (23–24 歳の大学院生) を対象とし、7 日間、被験者が普段使用している PC 上にキーロガーをインストールして行われた。キーロガーは以下の情報を取得した。

- F キー、J キー、K キーおよび L キーが押下および解放された時間およびキーの種別
- 他のキーが押下および解放された時間

キーロガーは F キー、K キーの連続押下、F キー、L キーの連続押下も開始符号に使用することができるか調査するために、K キーおよび L キーの押下および解放された時間も併せて記録を行った。なお、キーロガーは入力情報の匿名化のために、F キー、J キー、K キーおよび L キーのみのキー種別を記録し、その他のキーが押下された際はキー種別を O キーとして扱った。その後、収集したキーログデータから、F キー、J キーが連続して押下された回数および、押下されていた時間を抽出した。

4.1.2 結果

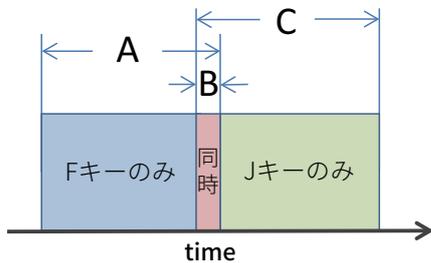
実験中に入力されたタイプ数および入力時間を表 1 に示す。実験期間中に合計 456.92 時間キーロガーが起動され、計 69089 回キーがタイプされた。

表 1 キーロガーにより収集したデータの規模および特定のキーの入力回数

被験者	入力回数 [回数]					起動時間 [hour]
	sum	F	J	K	L	
P1	7009	98	61	399	96	101.10
P2	15246	789	82	87	147	26.48
P3	26276	162	19	1760	101	221.96
P4	11484	330	75	391	211	56.39
P5	9074	40	8	677	9	51.00
計	69089	1419	245	3314	564	456.92

図 4 にキーログ収集期間中に発生した開始符号操作における、F キー、J キーの入力時間を示す。本実験に置いて開始符号が発生した回数は合計 3 回であった。その内訳と

しては、P1 が計 2 回、P2 が計 1 回開始符号の入力を行っていた。また、P3 は計 1 回 J キーおよび F キーの順に開始符号と同様の操作を行っていた。その際に両キーが同時に押下されている時間は 119ms であった。



	Fキーのみ [ms]	同時 [ms]	Jキーのみ [ms]
T1	129	2	101
T2	170	8	170
T3	142	7	112

図 4 キーログ記録中に開始符号が発生した際の各キーの入力時間

4.1.3 考察

開始符号と同様の文字入力時において、F キー、J キーが同時に押下されている時間は 2-8ms と短いため、同時に押下する時間を 100ms 以上となるように設計することにより、文字入力操作時との競合を回避できると考えられる。また、J および F キーの順に押下する操作が発生した際に、それぞれのキーが同時に押下された時間は 100ms 以上であった。そのため、F キー、J キーの順に連続に押下した際のみを開始符号と認識するように設定することにより、文字入力操作との競合を避けることができる。併せて調査した F キーおよび K キー、F キーおよび L キーの連続押下は調査中に同時に入力されることはなかった。そのため、これらのキーの連続押下に基づく開始符号は、文字入力操作との競合は起こらないと考えられる。

4.2 実験 2: ポインティング操作の使用感評価

提案する開始符号を用いた物理キーボードのみを用いたポインティング操作を行う手法において、物理キーボードおよびマウスを用いた手法と提案手法の使用感の比較を行うために評価実験を行った。以下に実験設計、実験環境、結果、および考察を述べる。

4.2.1 実験設計

研究室内の、21-23 歳の大学生および大学院生のボランティア 6 名を対象とし、製作した実験用プログラムを用いて提案手法の評価を行った。以下に本実験におけるタスクを示す。実験における 1 試行は文字入力タスクとポインティングタスクからなり、50 試行を 1 セッションとした。被験者には、提案手法である物理キーボードのみを用いる条件（キーボードのみ条件）ならびに、物理キーボードお

よびマウスを用いる条件（キーボード+マウス条件）をそれぞれ 1 セッション行ってもらった。なお、被験者を A および B のそれぞれ 3 人のグループに分け、A グループはキーボードのみ条件、キーボード+マウス条件の順に行い、B グループはキーボード+マウス条件、キーボードのみ条件の順に行った。また、はじめに被験者に提案手法および、キーボードおよびマウスを用いる手法の両手法にて入力可能な練習プログラムを用いて 10 試行の練習を行ってもらった。なお、文字入力タスクにおいて被験者に示したフレーズは、MacKenzie ら [9] が示した 500 フレーズのセットからランダムに抽出した。実験に用いたプログラムの各タスクおよび各セッションにおける実験用プログラムの画面一覧を図 5 に示す。実験は静かな環境にて行われ、被験者には椅子に座って実験を行うように指示した。実験終了後、被験者には使用感評価のためのアンケートに回答してもらった。

4.2.2 使用機器

表 2 に実験に使用した機器一覧を示す。本実験において、物理キーボードに Microsoft 社製の Wedge Mobile Keyboard を用いた。本キーボードはキートップ周囲が斜めに加工されており、さらにキー間の隙間が 0.5mm 程度と狭いため、複数のキーをまたいで押下やすいという特徴を有する。そのため複数のキーを押下することによりポインティング操作を行う、提案手法に適していると考えられる。

表 2 実験に使用した機器一覧

機器名	商品名	メーカー	備考
PC	VAIO Tap 20 (SVJ202)	SONY	Windows8.1 Pro Intel Core i7-3667U メモリ 8GB
マウス	VGP-WMS21	SONY	
キーボード	Wedge Mobile Keyboard	Microsoft	日本語配列

4.2.3 結果および考察

アンケートの結果を以下に示す。図 6 は、「どちらの操作の方が使いやすかったですか」という設問に対する回答の分布図である。なお、本設問は回答に「キーボードのみ」条件を 1 とし、「キーボード+マウス」条件を 5 とした 1-5 の 5 段階評価を用いた。図 6 の結果より、キーボード+マウス条件の方がより好まれていることが分かる。また、その理由について被験者に自由記述回答をしてもらったところ、キーボード+マウス条件を好んだ被験者 5 名の内、3 名が「マウスの方が慣れているため」と述べ、2 名が「マウスの方が直感的である」と述べた。一方、キーボードのみ条件を好んだ被験者から「ターゲットまでの距離が短い場合はキーボードのみ条件の方が良かった」という意見を得た。

図 7 は、「キーボードのみ条件においてカーソルを思う通り動かせましたか」への回答の分布図である。なお、本設問は回答に「動かせた」を 1 とし、「動かせなかった」を

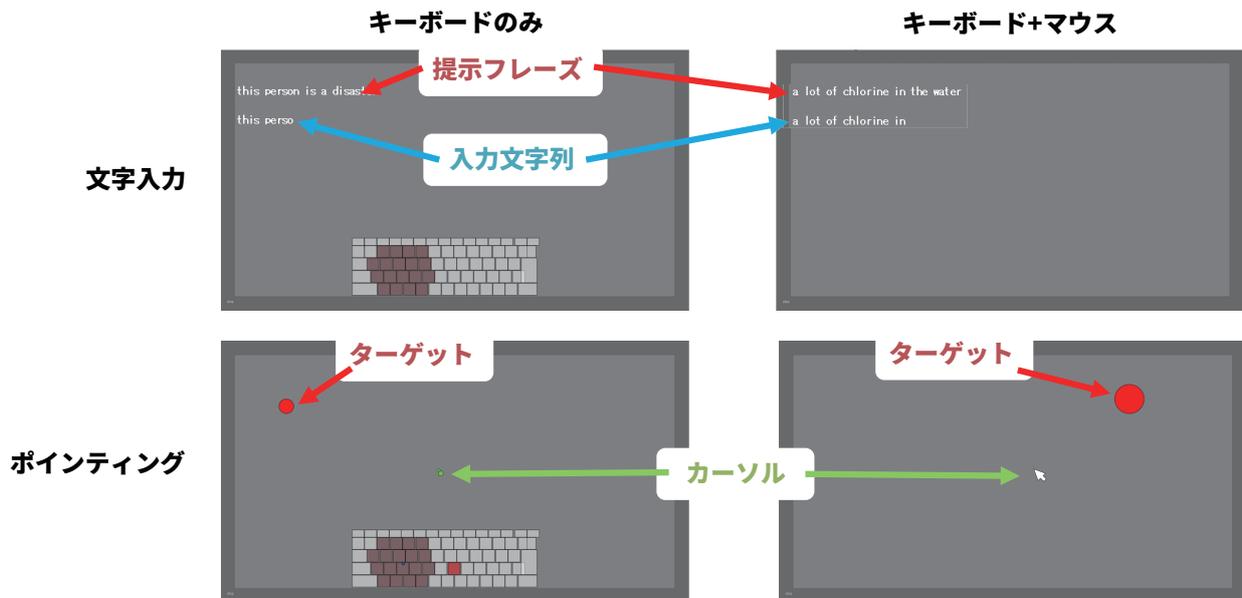


図 5 各タスクおよび各セッションにおける実験用プログラムの画面一覧

5とした1-5の5段階評価を用いた。図7より、提案手法の操作が難しいということが分かる。また、その理由について被験者に自由記述回答をしてもらった。その結果、物理キーボードのみを用いたポインティング操作は「大まかな操作はやりやすかったが、微調整が難しい」、「ポインタの速度を一定にしたほうが使いやすい」、「移動スピードを調整しづらかった」という意見を得た。

また、「キーボードのみ条件は eyes-free 操作可能ですか」という設問に対しては、全被験者が可能だと回答した。このことから、提案手法は物理キーボードの触覚フィードバックに基づく eyes-free 操作が可能であるという仮説の裏付けを得た。

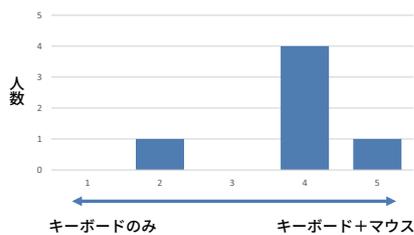


図 6 どちらの操作の方が使いやすかったか

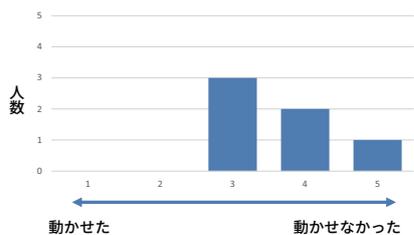


図 7 キーボードのみ条件において、カーソルを思う通り動かしましたか

5. おわりに

本稿において物理キーボードを用いた F キー、J キーの順の連続押下に基づく開始符号と、この開始符号を用いたポインティング手法を示した。この開始符号の設計に際しては、開始符号が普段の文字入力操作においてどの程度の頻度にて出現するかキーロガーを用いた調査を行い、開始符号における F キー、J キーの押下時間の設計を行った。

今後は開始符号の入力に掛かる時間、ポインティング速度およびポインティング精度を実験を通じて確かめる。また、ポインティングに他の開始符号が考えられるか、ならびに開始符号がどの程度の頻度にて発生するか、さらに調査する。例えば、F キー、J キーを用いた開始符号をポインティング操作以外に、F キーおよび K キーを用いた開始符号をジェスチャ操作に割り当てることにより、種々の操作を一つの物理キーボード上にて行うことが可能になる。また、例えば J キーを押下した状態にてポインティング操作を行っている際に、I キーおよび O キーの同時押下、ならびに K キーおよび L キーの同時押下を交互に行うことにより、スクロール操作入力が可能となる。このようにキーの組み合わせ次第によって機能の拡張が容易である点が本提案手法の利点である。今後、機能の拡張および評価を行う。

また、本稿においてはポインティング操作の際のカーソルの移動量は 2 点の重心座標に基づくものであった、今後はポインティング操作入力領域のキーが押下された時間を利用し、ユーザがより細かなカーソル移動量の調整をできるようにする。

参考文献

- [1] Bailly, G., Pietrzak, T., Deber, J. and Wigdor, D. J.: MéTamorphe: Augmenting Hotkey Usage with Actuated Keys, CHI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 563–572 (2013).
- [2] Bi, X., Chelba, C., Ouyang, T., Partridge, K. and Zhai, S.: Bimanual Gesture Keyboard, UIST '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 137–146 (2012).
- [3] Dietz, P. H., Eidelson, B., Westhues, J. and Bathiche, S.: A Practical Pressure Sensitive Computer Keyboard, UIST '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 55–58 (2009).
- [4] Findlater, L., Lee, B. and Wobbrock, J.: Beyond QWERTY: Augmenting Touch Screen Keyboards with Multi-touch Gestures for Non-alphanumeric Input, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 2679–2682 (2012).
- [5] Hoggan, E., Brewster, S. A. and Johnston, J.: Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for Mobile Touchscreens, CHI '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 1573–1582 (2008).
- [6] Kato, J., Sakamoto, D. and Igarashi, T.: Surfboard: Keyboard with Microphone As a Low-cost Interactive Surface, UIST '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 387–388 (2010).
- [7] Kristensson, P. O. and Zhai, S.: Command Strokes with and Without Preview: Using Pen Gestures on Keyboard for Command Selection, CHI '07, New York, NY, USA, ACM, pp. 1137–1146 (2007).
- [8] Kurosawa, T., Shizuki, B. and Tanaka, J.: Keyboard Clawing: Input Method by Clawing Key Tops, HCI'13, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 272–280 (2013).
- [9] MacKenzie, I. S. and Soukoreff, R. W.: Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques, *CHI EA '03*, pp. 754–755 (2003).
- [10] Taylor, S., Keskin, C., Hilliges, O., Izadi, S. and Helmes, J.: Type-Hover-Swipe in 96 Bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 1695–1704 (2014).
- [11] Tung, Y.-C., Cheng, T. Y., Yu, N.-H., Wang, C. and Chen, M. Y.: FlickBoard: Enabling Trackpad Interaction with Automatic Mode Switching on a Capacitive-sensing Keyboard, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 1847–1850 (2015).
- [12] Zhai, S. and Kristensson, P. O.: The Word-Gesture Keyboard: Reimagining Keyboard Interaction, *Communications of the ACM. ACM*, Vol. 55, No. 9, pp. 91–101 (2012).
- [13] Zhang, H. and Li, Y.: GestKeyboard: Enabling Gesture-based Interaction on Ordinary Physical Keyboard, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 1675–1684 (2014).