

KeyNet: keyboard layout optimization using network analysis and genetic algorithms

Anže Arhar, Kristjan Kostanjšek, and Nejc Ločičnik

1 Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaeque doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et.

2 Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaeque doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut.

2.1 Network analysis

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaeque doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti detraxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae sine metu degendae praesidia firmissima. – Filium morte multavit. – Si sine causa, nollem me ab eo delectari, quod ista.

2.2 Genetic algorithms

As key layout optimization is a permutation problem, we decided to optimize our layout using a genetic algorithm. By defining the problem in this way, we can easily design a cost function that is defined only using matrix operations. This allows us to speed up the computations significantly, resulting in better layout designs.

Each gene in the population is represented as a permutation. Our goal is to find the optimal permutation of keys that minimizes the cost function c . In this section, the function **diag** refers to creating a diagonal matrix from a vector $v \in \mathbb{R}^n$:

$$\text{diag}(v) = D \in \mathbb{R}^{n \times n}, \text{ where } D_{i,j} = \begin{cases} v_i, & i = j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

We define the cost function c using the following matrices:

- Probability matrix P contains the bigram probabilities

$$P_{i,j} = p_{i,j}$$

- Markov chain transposition matrix A of the network is used to calculate the stationary probability vector π

$$\pi A = \pi$$

- Preferred position matrix R is a diagonal matrix of key importances

$$R = \text{diag} \left(\text{vec} \left(\begin{bmatrix} 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 1 & 5 & 4 & 3 & 2 \\ 6 & 7 & 8 & 9 & 2 & 2 & 9 & 8 & 7 & 6 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 1 & 5 & 4 & 3 & 2 \end{bmatrix}^T \right) \right)$$

- Distance matrix D contains the physical distances between the keys

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

- Same finger bigram matrix F groups keys assigned to the same finger

$$g = \text{vec} \left(\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 7 & 8 \end{bmatrix}^T \right)$$
$$F_{i,j} = \begin{cases} 1, & g_i = g_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Cost c is defined using a weighted sum of the permuted matrices which is finally element-wise summed into a single number

$$C(E) = EP \odot (w_1 F + w_2 D) - w_3 \text{diag}(E\pi)R$$

$$c = \sum_i \sum_j C_{i,j}$$

Using a weighted sum allows us to assign more weight to some scores and less to other. All of the aforementioned matrices are displayed in Figure 1.

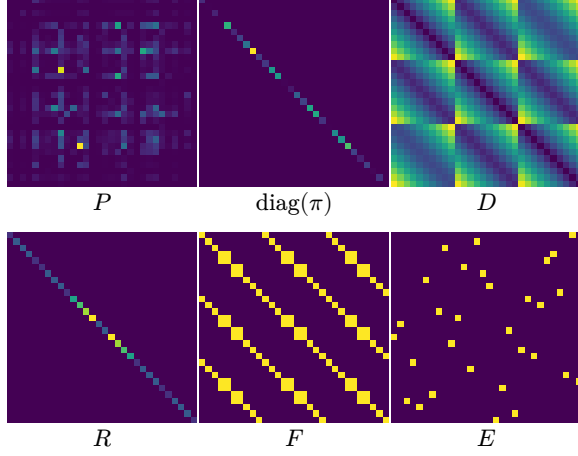


Figure 1: Matrices visualized

In each generation we keep the 10 % of the previous population with the lowest cost. Next 50 % of the genes according to their cost are only mutated. Mutations are represented using a random swap of two elements. Other 40 % of genes are a recombination of all genes from the previous population. This is achieved using the partially mapped crossover (PMX) algorithm, which swaps parts of two permutations in a way that keeps a part of the original permutation. Candidates for recombination are selected according to their cost - lower cost has a higher probability of being selected and higher cost has a lower probability of being selected. The mutation and crossover procedure operate only inclusively on home-row keys or other keys. This limitation is added to keep similar structure to the layout designed using network analysis.

2.3 Evaluation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaleam animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defenza et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti de-

traxisse, ut aliquam ex eo est consecutus? – Laudem et caritatem, quae sunt vitae.

3 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaleam animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defenza et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet, ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Itaque earum rerum defuturum, quas natura non depravata desiderat. Et quem ad me accedis, saluto: 'chaere,' inquam, 'Tite!' lictores, turma omnis chorusque: 'chaere, Tite!' hinc hostis mi Albucius, hinc inimicus. Sed iure Mucius. Ego autem mirari satis non queo unde hoc sit tam insolens domesticarum rerum fastidium. Non est omnino hic docendi locus; sed ita prorsus existimo, neque eum Torquatum, qui hoc primus cognomen invenerit, aut torquem illum hosti de-

4 Discussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaleam animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguere possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos irridente, statua est in quo a nobis philosophia defenza et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et

Bibliography