

УДК 515.2:519.85

## АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ И ИХ СРАВНЕНИЕ

Комяк В.М., д.т.н.

Долгодуш М.Н., к.т.н.,

Данилин А.Н., ад'юнкт\*

Университет гражданской защиты Украины (г. Харьков, Украина)

*В работе рассматриваются алгоритмы индивидуально-поточного движения людей и осуществляется их сравнение по их трудоемкости.*

*Ключевые слова: индивидуально-поточное движение людей, локальная оптимизация, трудоемкость.*

**Постановка проблемы.** Эффективность эвакуации людей из зданий при чрезвычайных ситуациях зависит от выборов путей и средств эвакуации, среди которых рассматриваются основные пути движения людей по коридорам и лестницам, а в случае когда они перекрыты – с помощью средств аварийной эвакуации. При моделировании движения людей по сети коридоров и лестниц используются, в основном, модели, оценивающие поток по средне-статистическим данным, не анализируя индивидуальные характеристики индивидов потока, что важно при движении людей с ограниченными физическими возможностями в потоке смешанного состава и в зданиях со сложной инфраструктурой. В связи с этим работа, которая посвящена геометрическому моделированию индивидуально-поточного движения людей, является актуальной.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работе [1] сформулирована и построена математическая модель индивидуально-поточного движения людей, которые аппроксимируются набором эллипсов. Показано, что рассматриваемая задача может быть сведена к задаче их плотной упаковки с разной плотностью. Разная плотность возникает в связи с учетом разных минимально допустимых расстояний между эллипсами. Соблюдение минимально допустимых расстояний вызвано учетом ряда ограничений, среди которых можно выделить движение людей с разной скоростью, учетом их комфортности и т. д.

**Формулирование целей статьи.** Целью статьи является разработка алгоритмов индивидуально-поточного движения людей и

---

\* Научный руководитель – д.т.н., проф. Комяк В.М.

сравнение их по трудоемкости.

**Основная часть.** Для каждого из индивидов, поступивших в область движения, на каждом шаге (с заданным временным интервалом, например, 1 сек.) определяется основное направление, после чего (возможно) вносятся небольшие индивидуальные изменения характеристик (скорости, направления, ускорения и т.п.). Угол поворота эллипса определяется между перпендикуляром к большой полуоси и вектором основного направления движения. Следующий шаг – составление системы неравенств, обеспечивающий как не пересечение всех эллипсов, моделирующих индивидов, так и их принадлежность области движения [2]. Целевая функция в данном случае представляет собой максимум совокупного движения (пройденного всеми индивидами суммарного расстояния). Таким образом, полученная задача нелинейного программирования может быть решена, например, при помощи программы IPOPT. [3] Процесс является итерационным и завершается после выхода индивидов из заданной области.

Пусть на  $k$ -ой итерации в области эвакуации  $\Omega_m$  находится  $N_k$  человек с параметрами размещения  $u_{ki} = (x_{ki}, y_{ki}, \theta_{ki})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_k$ , где  $(x_{ki}, y_{ki})$  – координаты размещения начала локальной системы координат, а  $\theta_{ki}$  – угол поворота  $i$ -го эллипса  $E_i$  с размерами полуосей  $(x_{ki}, y_{ki})$ , служащего моделью  $i$ -го человека. Для каждой точки с координатами  $(x_{ki}, y_{ki})$  определяется вектор скорости  $\vec{v}_{ki} = (x_{ki,x}, y_{ki,y})$ .

Область допустимых решений задачи, которая строится исходя из ограничений на условие непересечения эллипсов между собой, условие размещения их в области с учетом минимально-допустимых расстояний, на угол отклонения от основного направления движения (маневренность), по способу построения может быть представлена в виде объединения  $\eta$  ( $\eta$  – некоторое большое число, зависящее от количества и вида объектов) подобластей вида:

$$W_k = \bigcup_{s=1}^{\eta} W_{ks}, \quad (1)$$

где  $W_k$  описывается системой неравенств с гладкими функциями.

Представление области допустимых решений в виде объединения подобластей (1) позволяют свести поиск локального экстремума задачи к решению последовательности задач нелинейного программирования при помощи следующего алгоритма 1:

1. Получим начальную точку задачи [3]:

$$u^l = (x_{k1}, y_{k1}, \theta_{k1}, x_{k2}, y_{k2}, \theta_{k2}, \dots, x_{kN_k}, y_{kN_k}, \theta_{kN_k}), l=0$$

(она принадлежит  $W_k$  по способу построения).

2. Генерируем по координатам начальной точки  $u^l$  подобласть  $W_{ks_l}$  из (1), содержащую эту точку. Если данные области уже исследованы, процесс решения закончен.

3. Начиная движение из точки  $u^l$ , находим локальный максимум целевой функции  $F(u)$  на области  $W_{ks_l}$ . Обозначаем полученную точку локального экстремума  $u^{l+1}$ .

4. Принимаем  $l = l + 1$  и переходим к шагу 2.

Предложен метод, в основе которого лежит последовательно-одиночное перемещение эллипсов (минимизация по группам переменных), этапы которого представлены в виде *алгоритма 2*:

1. Область эвакуации задается в виде дерева (графа). Ребра - сегменты коридоров, вершины – перекрестки и точки "склейки" сегментов. Сегмент может иметь переменную ширину (линейно). Для каждой точки сегмента рассчитывается расстояние до выхода и направление преимущественного движения.

2. На область эвакуации накладывается сетка с достаточно мелким шагом для определения плотности потока.

3. Эллипсы сортируются по возрастанию расстояния до выхода.

4. В порядке сортировки, для каждого из эллипсов по координатам положения центра и углу поворота определяются локальная плотность потока и преимущественное направление движения.

5. Для выбранного преимущественно направления движения в пределах угла маневренности перебирается дискретно определенное число направлений и среди них отыскивается направление, по которому за секунду удастся осуществить максимальное перемещение без нарушений границ сегментов и без пересечений с другими эллипсами. (Скорость перемещения зависит от локальной плотности потока).

6. Полученные значения скорости и расстояния корректируются с учетом величины комфортности (учитываются силы "отталкивания" заданием расстояния между эллипсами).

Осуществлено компьютерное моделирование индивидуально-поточного движения. В начальный момент времени производится случайное размещение эвакуируемых в коридоре и за дверьми в прилегающих помещениях, выходы из которых – прерывание сплошной, изображающей границу коридора; прямоугольники – области запрета для движения. Индивидуальные характеристики генерируются, используя нормальный закон распределения. Шесть фрагментов процесса движения представлено на рис. 1.

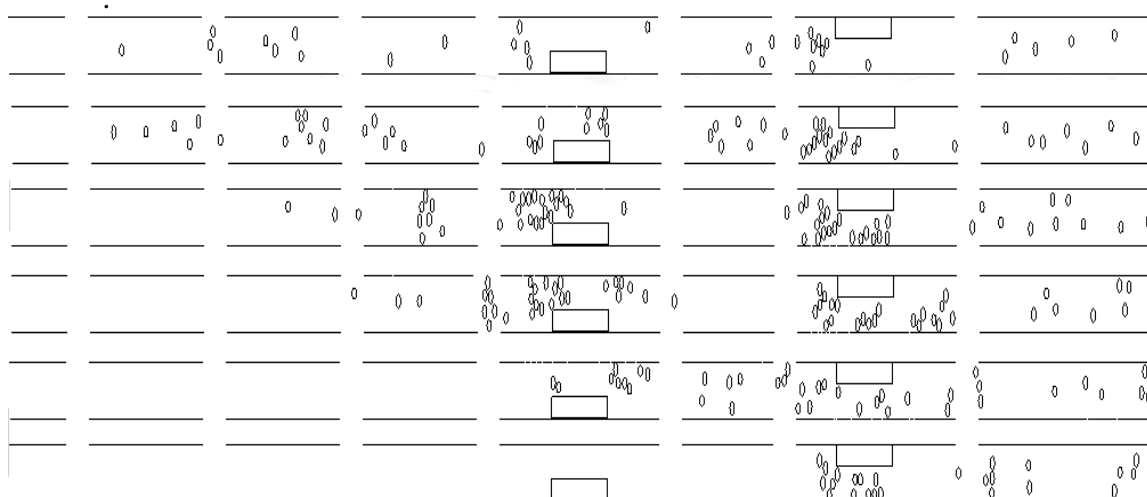
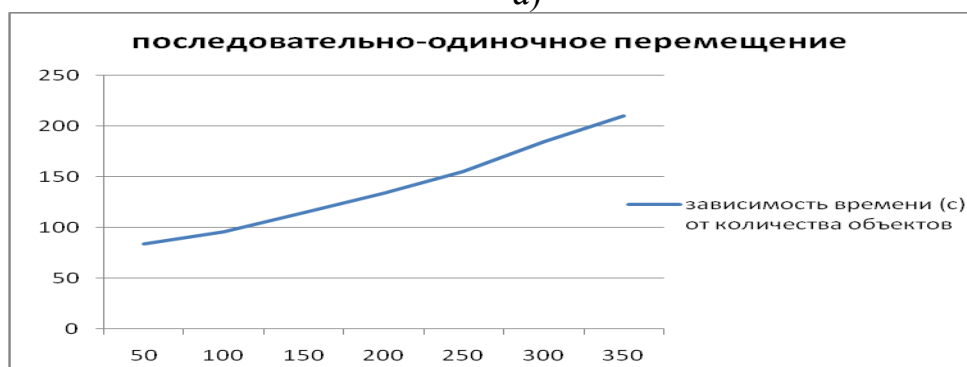


Рис.1. Компьютерное моделирование индивидуально-поточного движения людей

Экспериментально оценена трудоемкость предложенных алгоритмов. На рис. 2.а показана зависимость времени эвакуации от количества перемещаемых объектов при решении по алгоритму 1, а на рис. 2.б – по алгоритму 2.



а)



б)

Рис.2. Зависимость времени решения от количества перемещаемых объектов

**Выводы.** Таким образом, при моделировании движения потоков

людей, количество которых не превышает 150, эффективны оба алгоритма. При большей размерности задачи следует применять алгоритм последовательно-одиночного перемещения (алгоритм 2).

### *Литература*

1. Данилин А.Н. Математическая модель индивидуально-поточного движения людских и транспортных потоков / [А.Н. Данилин, В.В. Комяк, В.М. Комяк и др.] // Вестник Херсонского Национального Технического Университета, Херсон: ХНТУ. – 2016. – №3(58). – С.501–505.
2. Komyak V. A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems [Text] / Va. Komyak, Vl. Komyak, A. Danilin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729–3774. – 1/4(85), 2017. – С.17–23.
3. Pankratov A. V. Optimal packaging ellipses given allowable distance A. V. Pankratov, T. E. Romanova, I. A. Subota // Journal of computing mathematics. – 2014. – Vol. 1. – pp. 27–42.

## **АЛГОРИТМИ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО РУХУ ЛЮДЕЙ ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ**

Комяк В.М., Долгодуш М.М., Данілін О.М.

*В роботі розглядаються алгоритми індивідуально-поточного руху людей і здійснюється їх порівняння з їх трудомісткості.*

*Ключові слова: індивідуально-поточний рух людей, локальна оптимізація, трудомісткість.*

## **ALGORITHMS OF GEOMETRICAL MODELING OF INDIVIDUAL- STREAM TRAFFIC OF PEOPLE AND THEIR COMPARISON**

Komyak V., Dolgodush M., Danilin A.

*In the paper algorithms of individual-and-flow movement of people are considered and their comparison is made according to their labor intensity.*

*Keywords: individual-and-flow movement of people, local optimization, labor intensity.*