

УДК 621.396

Е. Л. МИНЯЙЛОВА, кандидат педагогических наук, А. А. ЧАПЛЮК, студент, А. В. ШТЕФАНОВ, студент, А. А. ТИХОМИРОВ, студент, Р. Д. БОРУШКОВ, студент, М. С. МАГОНОВ, студент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ В ЗДАНИЯХ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Актуальной проблемой в области навигации по зданию является проблема автоматического ведения человека по маршруту, поиска необходимых объектов. В настоящее время используются системы и правила визуальной навигации с учетом ее соответствующих принципов и дизайна.

В статье предложено решение задачи навигации на примере здания БелГУТа методом динамического программирования. Данное решение в интерактивном режиме определяет кратчайшие расстояния и оптимальные пути между ключевыми точками здания БелГУТа. Приведены псевдокоды программной реализации используемых алгоритмов на языке программирования C++.

Ежедневно учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта» посещают тысячи людей: преподаватели, студенты и гости университета. Многие из них оказываются в здании впервые. Им приходится долго ходить по длинным лабиринтам коридоров университета в поисках нужного кабинета. Классический способ решения задачи навигации по зданию сводится к размещению указателей, пиктограмм и информационных табличек. Например, указатели аудиторий для проведения централизованного тестирования, выходов из здания и т. п. Однако таких возможностей недостаточно, чтобы быстро найти нужный кабинет или выбрать оптимальный путь к нему. Проблема также характеризуется отсутствием справочных интерактивных технических и программных средств.

Предметом данной работы является разработка, программная реализация и техническая организация процесса поиска кратчайших расстояний и реконструкции оптимальных путей между ключевыми точками здания БелГУТа.

По результатам анализа источников литературы и интернет-источников можно выделить две наиболее значимые технологии навигации в зданиях:

– Destination Maps, разработанная компанией Navteq, предлагающей детальную 3D-информацию о местонахождении объектов в помещениях. В частности, Destination Maps отображает эскалаторы, ваннные комнаты, запасные выходы и разные уровни зданий, а параллельно с этим предлагает пользователю другую актуальную информацию. При этом взаимодействие системы с мобильным устройством осуществляется через Bluetooth или Wi-Fi. Благодаря этому взаимодействию не происходит потери GPS-сигнала внутри помещений. С помощью сервисной системы рассчитываются расстояния между контрольными точками, учитывая лестницы, стеклянные ограждения и т. п. Эта технология удобна, например, в торговых центрах, крупных музеях и других зданиях [1];

– для закрытых помещений компании Nokia. Разработчики из Nokia предложили систему, основанную на особых маяках, расположенных под потолком помещений. Они действуют так же, как спутники в небе, помогая в определении местонахождения. Эти маяки в режиме реального времени и с точностью до 30 см могут

отслеживать, как далеко вы находитесь от заданного места назначения, и в каком направлении следует двигаться. Кроме этого, разработано и специальное устройство слежения, которое можно прикрепить к различным объектам, включая одежду. С его помощью можно находить ценные вещи или «приглядывать» за детьми, пожилыми людьми и т. п. [2].

Хочется отметить, что данные технологии достаточно дорогостоящи и выполняют ограниченные задачи. Они выгодны тем учреждениям и предприятиям, в которых эта технология быстро окупится.

Нами разработан программный продукт, размещаемый на сайте БелГУТа и/или в специальных информационных киосках на входах в здание. Такая разработка не потребует значительных вложений и является универсальной для многих средних и крупных помещений.

Для определения понятия «навигация по зданию объектов, имеющих собственные методы передвижения» выделим смысловые значения терминов. Под *объектами* будем понимать студентов, преподавателей, сотрудников, абитуриентов и посетителей БелГУТа, далее *посетителей* БелГУТа.

Навигация будет осуществляться с использованием технических и программных средств. Следовательно, под *навигацией* будем понимать процесс управления передвижением посетителей по территории университета. В данной технологии навигации по БелГУТу учитывается возможность прохода куда-либо, происходит вычисление кратчайших расстояний и оптимальных путей между ключевыми точками здания БелГУТа.

Задаются две ключевые точки здания БелГУТа: начальная и конечная, путь между которыми проходит через вспомогательные узлы. Нужно найти кратчайший путь между этими двумя точками. Ключевая точка в терминах математики обозначает вершину графа и может являться номером кабинета, поворотом в коридоре, выходом на лестницу и другой условной точкой.

Существует несколько путей от одного кабинета к другому. Для упрощения задачи будем считать, что только один из этих путей является кратчайшим. Путь будет представлен упорядоченным набором ключевых точек, через которые следует пройти.

По результатам проведенного теоретического обоснования применения различных методов для решения задачи был использован раздел математики, посвящён-

ной теории и методам решения многошаговых задач оптимального управления, называемый динамическим программированием. Также были использованы следующие алгоритмы:

– Беллмана – Форда – алгоритм поиска кратчайшего пути во взвешенном графе из одной вершины во все остальные;

– Флойда – Уоршелла – динамический алгоритм для нахождения кратчайших расстояний между всеми вершинами взвешенного ориентированного графа.

**Вычислительный эксперимент.** В данном экспе-

рименте описывается задача нахождения (поиска) кратчайшего расстояния и пути между двумя любыми ключевыми точками. Для визуализации расчетов выделим две точки: кабинет 1126 и кабинет 170, как максимально удаленные в здании (на графе они представлены соответственно 1-й и 12-й ключевыми точками). Планом эксперимента предусматривалось проведение расчетов по поиску путей при закрытых и открытых выходах во внутренний двор университета.

Приведем граф-схему (рисунок 1) первого этажа университета.

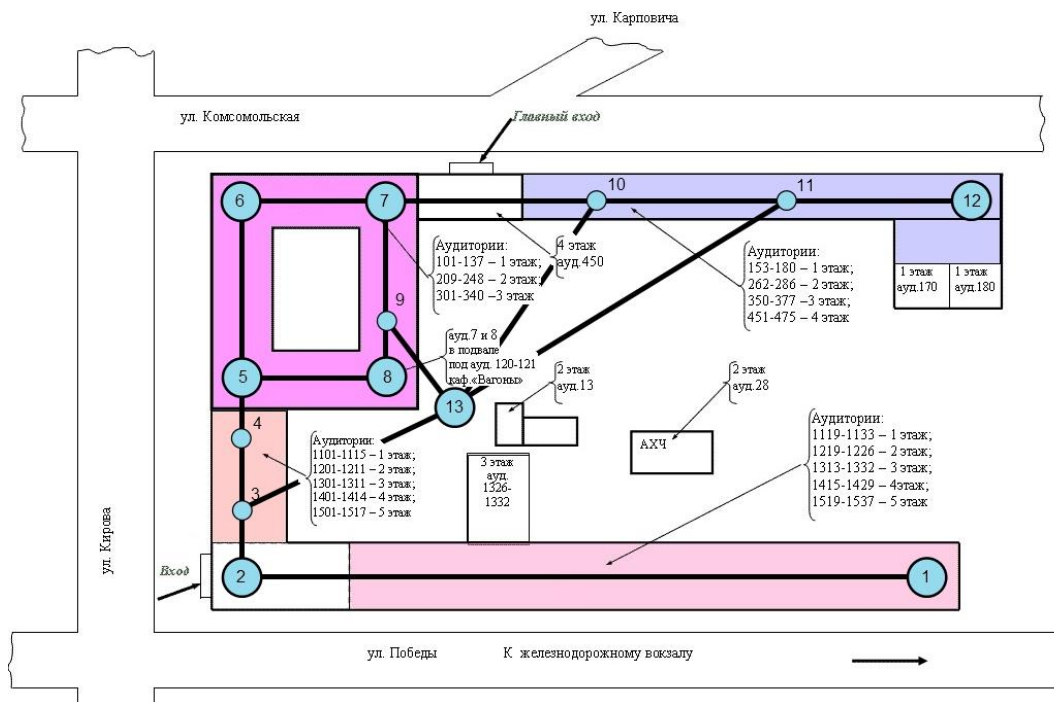


Рисунок 1 – Схематическое изображение здания БелГУТа с наложением граф-схемы

Приведем графы первого этажа БелГУТа с закрытыми (рисунок 2) и открытыми дверями (рисунок 3).

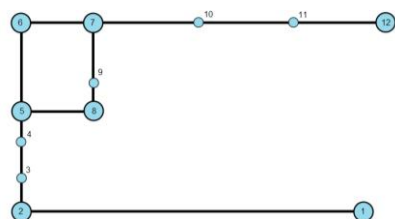


Рисунок 2 – Схематическое изображение первого этажа БелГУТа с закрытыми дверями во внутренний двор

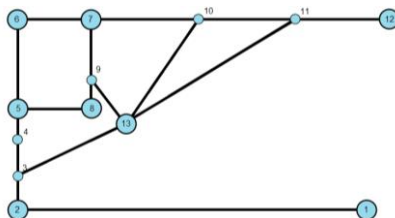


Рисунок 3 – Схематическое изображение первого этажа БелГУТа с открытыми дверями во внутренний двор

Для решения этой задачи были написаны программы на языке C++, реализующие алгоритмы Беллмана – Форда и Флойда – Уоршелла.

Приведем псевдокод, реализующий алгоритм Беллмана – Форда:

BELLMAN-FORD( $G, s$ )

1. **for** для каждой вершины графа  $i \in V$
2.   **do**  $d[i] \leftarrow +\infty$
3.  $d[s] \leftarrow 0$
4. **for** для каждой вершины графа  $i \in V-1$
5.   **do for** для всех ребер графа  $(i, j) \in E$
6.     **do**  $d[i] \leftarrow \min(d[i], d[j] + \omega[j, i])$
7. **for** для каждого ребра графа  $(i, j) \in E$
8.   **do if**  $d[i] > d[j] + \omega[j, i]$
9.     **then return false**
10. **return true**

Для заданного взвешенного графа алгоритм находит кратчайшие пути из заданной вершины до всех остальных вершин. В случае, когда в графе содержатся отрицательные циклы, алгоритм сообщает, что кратчайших путей не существует (false).

Приведем псевдокод, реализующий алгоритм Флойда – Уоршелла:

FLOYD-WARSHALL ( $D^0$ )

1. **for** для множества разрешенных для прохода вершин, ограниченных индексом  $k \in V$
2.   **do for** для каждой вершины графа  $i \in V$
3.     **do for** для каждой вершины графа  $j \in V$
4.       **do**  $d^k[i, j] \leftarrow \min(d^{k-1}[i, j], d^{k-1}[i, k] + d^{k-1}[k, j])$

На каждом шаге алгоритм генерирует двумерную матрицу. Матрица содержит длины кратчайших путей между всеми вершинами графа. Перед работой алгоритма матрица заполняется длинами ребер графа.

Применим алгоритм Беллмана – Форда и приведем результаты его работы для случая с закрытыми дверями (рисунки 4, 5):

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	82	0	45	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	45	0	42	*	*	*	*	*	*	*	104
4	*	*	42	0	30	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	30	0	49	*	78	*	*	*	*
6	*	*	*	*	49	0	67	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	67	0	48	37	*	*	*
8	*	*	*	*	78	*	0	13	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	48	13	0	*	*	*	39
10	*	*	*	*	*	37	*	*	0	41	*	59
11	*	*	*	*	*	*	*	*	41	0	51	84
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	51	0	*

Enter source: 1  
Length's matrix:  
1

1	0
2	82
3	127
4	169
5	199
6	248
7	315
8	277
9	290
10	352
11	393
12	444

Ways:

from 1 to 1:	1
from 1 to 2:	1 2
from 1 to 3:	1 2 3
from 1 to 4:	1 2 3 4
from 1 to 5:	1 2 3 4 5
from 1 to 6:	1 2 3 4 5 6
from 1 to 7:	1 2 3 4 5 6 7
from 1 to 8:	1 2 3 4 5 8
from 1 to 9:	1 2 3 4 5 8 9
from 1 to 10:	1 2 3 4 5 6 7 10
from 1 to 11:	1 2 3 4 5 6 7 10 11
from 1 to 12:	1 2 3 4 5 6 7 10 11 12

From: 1  
To: 12  
Length: 444 m  
Way: 1 2 3 4 5 6 7 10 11 12

Рисунок 4 – Исходная матрица расстояний, кратчайшие пути и их длины, найденные с помощью алгоритма Беллмана – Форда

Программа выдает нам таблицу расстояний от выбранной вершины до всех остальных и список кратчайших путей к этим вершинам.

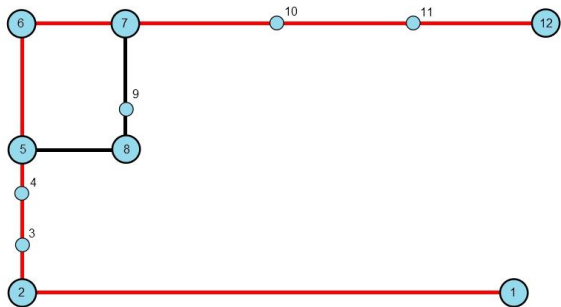


Рисунок 5 – Найденный путь по алгоритму Беллмана – Форда при закрытых дверях во внутренний двор

Применим алгоритм Беллмана – Форда и приведем результаты его работы для случая с открытыми дверями (рисунки 6, 7).

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	82	0	45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	45	0	42	*	*	*	*	*	*	*	*	104
4	*	*	42	0	30	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	30	0	49	*	78	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	49	0	67	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	67	0	48	37	*	*	*	*
8	*	*	*	*	78	*	0	13	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	48	13	0	*	*	*	*	39
10	*	*	*	*	*	37	*	*	0	41	*	*	59
11	*	*	*	*	*	*	*	*	41	0	51	*	84
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	51	0	*	*
13	*	*	104	*	*	*	*	*	39	59	84	*	0

Enter source: 1  
Length's matrix:  
1

1	0
2	82
3	127
4	169
5	199
6	248
7	315
8	277
9	270
10	290
11	315
12	366
13	231

Ways:

from 2 to 1:	2 1
from 2 to 2:	2
from 2 to 3:	2 3
from 2 to 4:	2 3 4
from 2 to 5:	2 3 4 5
from 2 to 6:	2 3 4 5 6
from 2 to 7:	2 3 4 5 6 7
from 2 to 8:	2 3 4 5 8
from 2 to 9:	2 3 13 9
from 2 to 10:	2 3 13 10
from 2 to 11:	2 3 13 11
from 2 to 12:	2 3 13 11 12
from 2 to 13:	2 3 13

From: 1  
To: 12  
Length: 366 m  
Way: 1 2 3 13 11 12

Рисунок 6 – Исходная матрица расстояний, кратчайшие пути и их длины, найденные с помощью алгоритма Беллмана – Форда

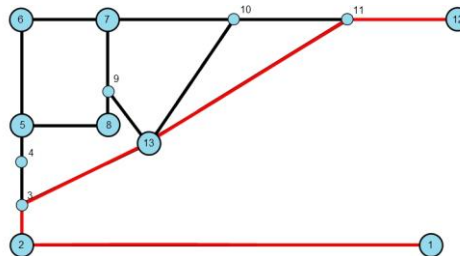


Рисунок 7 – Найденный путь по алгоритму Беллмана – Форда при открытых дверях во внутренний двор

Если сравнить полученные расстояния в первом (см. рисунок 4) и втором (см. рисунок 6) случаях и их визуальные представления (см. рисунки 5, 7), то окажется, что при открытых выходах во внутренний двор расстояние между корпусами сокращается. Также это будет способствовать разгрузке переходных коридоров на втором этаже.

Стоит заметить, что у алгоритма Беллмана – Форда есть один общеизвестный недостаток: алгоритм вычисляет путь и расстояние от одной точки во все остальные. Для поиска расстояний между всеми парами ключевых точек (например, для составления схем пожарной эвакуации) используем алгоритм Флойда – Уоршелла.

Применим алгоритм Флойда – Уоршелла и приведем результаты его работы для случаев с закрытыми (рисунок 8) и открытыми дверями (рисунок 9).

CALCULATING:												
D_0:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	82	0	45	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	45	0	42	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	42	0	30	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	30	0	49	*	78	*	*	*	*
6	*	*	*	*	49	0	67	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	67	0	*	48	37	*	*
8	*	*	*	*	*	78	*	0	13	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	48	13	0	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	37	*	*	0	41	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	41	0	51
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	51	0

GRAPH AFTER:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	82	127	169	199	248	315	277	290	352	393	444
2	82	0	45	87	117	166	233	195	208	270	311	362
3	127	45	0	42	72	121	188	150	163	225	266	317
4	169	87	42	0	30	79	146	108	121	183	224	275
5	199	117	72	30	0	49	116	78	91	153	194	245
6	248	166	121	79	49	0	67	127	115	104	145	196
7	315	233	188	146	116	67	0	61	48	37	78	129
8	277	195	150	108	78	127	61	0	13	98	139	190
9	290	208	163	121	91	115	48	13	0	85	126	177
10	352	270	225	183	153	104	37	98	85	0	41	92
11	393	311	266	224	194	145	78	139	126	41	0	51
12	444	362	317	275	245	196	129	190	177	92	51	0

Рисунок 8 – Исходная и результирующая матрицы расстояний между всеми парами ключевых точек для случая с закрытыми дверями

CALCULATING:													
D_0:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	82	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	82	0	45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	45	0	42	*	*	*	*	*	*	*	*	104
4	*	*	42	0	30	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	30	0	49	*	78	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	49	0	67	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	67	0	*	48	37	*	*	*
8	*	*	*	*	*	78	*	0	13	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	48	13	0	*	*	*	39
10	*	*	*	*	*	*	37	*	*	0	41	*	59
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	41	0	51	84
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	51	0	*
13	*	*	104	*	*	*	*	*	39	59	84	*	0

GRAPH AFTER:													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	82	127	169	199	248	315	277	270	290	315	366	231
2	82	0	45	87	117	166	233	195	188	208	233	284	149
3	127	45	0	42	72	121	188	150	143	163	188	239	104
4	169	87	42	0	30	79	146	108	121	183	224	275	146
5	199	117	72	30	0	49	116	78	91	153	194	245	130
6	248	166	121	79	49	0	67	127	115	104	145	196	154
7	315	233	188	146	116	67	0	61	48	37	78	129	87
8	277	195	150	108	78	127	61	0	13	98	136	187	52
9	270	188	143	121	91	115	48	13	0	85	123	174	39
10	290	208	163	183	153	104	37	98	85	0	41	92	59
11	315	233	188	224	194	145	78	136	123	41	0	51	84
12	366	284	239	275	245	196	129	187	174	92	51	0	135
13	231	149	104	146	130	154	87	52	39	59	84	135	0

Рисунок 9 – Исходная и результирующая матрицы расстояний между всеми парами ключевых точек для случая с открытыми дверями

Получено 24.06.2011

**E. L. Minjailova, A. A. Chapliuk, A. V. Shtefanov, A. A. Tikhomirov, R. D. Borushkov, M. S. Magonov.** The solution to the problem of navigation on the building by the method of dynamic programming.

The recurrent problem in the navigation area of the building is the problem of automatic management rights on the route, of finding the necessary facilities. Nowadays systems and rules of visual navigation in accordance with relevant principles and design of such a system are used. As a result, teachers, students and guests of the educational establishment "Belarusian State University of Transport" have a long wander through the maze of long corridors of the University to find the right cabinet. In this article, we propose a solution to the problem of navigation on the example of the BelSUT building by the method of dynamic programming. This solution was in line defines the shortest distance and optimal path between the key points of the BelSUT building. The pseudocodes of program implementation of the algorithms used in programming language C++ are shown.

Хотелось бы отметить, что алгоритмы динамического программирования могут иметь применение не только для навигации по зданиям. Алгоритмы применимы также для составления планов пожарной эвакуации, планирования туристических маршрутов, моделирования движения пакетов в компьютерной сети, решения вопросов составления маршрутов в авиации, прокладки железнодорожных путей и т. д. Эти алгоритмы универсальны и их умелое использование помогает при решении широкого спектра задач.

Предлагаемая технология может иметь практическое применение в маршрутизации, выборе оптимального пути следования посетителей по территории БелГУТа. Отличительной особенностью данной разработки от существующих является использование навигационной справочной системы, размещаемой на веб-сайте БелГУТа. Информацию о перемещениях можно сделать интерактивной и разместить не только на бумажных носителях, но и в информационном киоске, на переносном (карманном) компьютере или сотовом телефоне (мобильном устройстве).

Экономический эффект данной разработки состоит в том, что она может упростить составление планов навигации по зданию, планов эвакуации из помещений, обеспечить более быстрый поиск нужного кабинета. Она также может помочь диспетчерам учесть в расписании учебных занятий вычисленные кратчайшие расстояния между аудиториями и корпусами. Это позволит разгрузить переходные коридоры между корпусами.

В дальнейшем данная справочная система может быть внедрена в общую справочную систему БелГУТа.

В итоге проведённых исследований разработаны основы технологии навигации по зданию, вычислены кратчайшие расстояния и оптимальные пути между ключевыми точками здания БелГУТа, а также создано интерактивное программное обеспечение.

#### Список литературы

- 1 Динамическое программирование / Т. Кормен [и др.] : под ред. И. В. Красикова // Алгоритмы: построение и анализ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 1296 с.
- 2 NAVTEQ выпустила карты для навигации внутри зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mobility.by/news/navteq-vypustila-karty-dlya-navigatsii-vnutri-zdaniy>.
- 3 Навигация внутри зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mobileimho.ru/news/navigatsiya-vnutri-zdaniy.html>.