

# Оценка влияния цифровых датчиков на эффективность систем управления

С.А. Лупин<sup>1</sup>, Чжо Чжо Лин<sup>1</sup>, Тан Шейн<sup>1</sup>, А.П. Давыдова<sup>1</sup>, Ю.Ф. Вагапов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МИЭТ», [lupin@miee.ru](mailto:lupin@miee.ru)

<sup>2</sup>Glyndwr University, Wrexham, Wales, United Kingdom

**Аннотация** — Рассматривается вопрос оценки эффективности включения различных датчиков в цифровые системы управления. На примере управления лифтом показано, что гибридное имитационное моделирование может быть использовано для решения этой задачи на всех этапах системного проектирования.

**Ключевые слова** — цифровые системы управления; имитационное моделирование; системы массового обслуживания.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня успехи современной микроэлектроники и цифровых систем обработки информации приводят к радикальным изменениям во многих технических областях. Одной из таких областей является управление комплексами технических средств. Если еще два десятилетия назад большинство технических объектов управлялось с помощью аналоговых или релейных систем, то сегодня в большинстве случаев используются цифровые системы управления на основе специализированных микроконтроллеров или универсальных микропроцессоров [1]. В литературе и сегодня ведутся дискуссии по поводу целесообразности такого перехода. Среди очевидных преимуществ цифровых систем управления стоит выделить высокую технологичность их проектирования. Стоимость разработки специализированных аналоговых или релейных систем значительно превышает затраты на проектирование систем на микроконтроллерах.

Традиционный подход при реинжиниринге классических систем управления и переводе их на цифровую платформу часто основывается на простом воспроизведении имеющегося контура управления с помощью методов цифровой обработки сигналов. Если при этом удается не ухудшить временные задержки, связанные с дискретизацией сигналов в цепях обратной связи, то формально не изменяются и характеристики самой системы управления [2]. Новые свойства и функции при таком подходе не возникают.

Альтернативный подход связан с перспективой использования тех вычислительных мощностей, которыми обладают современные микроконтроллеры. Весьма

заманчиво сделать и управление более «умным», если в распоряжении есть необходимый для этого ресурс. Для этого, прежде всего, необходимо увеличить количество информации об объекте управления, а потом «количество перейдет в качество» и будут получены новые свойства системы управления. Все современные интеллектуальные системы следуют именно этим путем. Ключевым вопросом здесь можно считать оценку целесообразности такого расширения. То, что увеличение количества датчиков приведет к усложнению алгоритма управления и повышению его вычислительной сложности совершенно очевидно, но не ясно как при этом изменятся функциональность самой системы и стоят ли эти изменения понесенных затрат? Ответ на этот вопрос в случае проектирования управления для систем массового обслуживания аналитически получить невозможно, а поэтому следует использовать различные технологии моделирования.

## II. ЛИФТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Сегодня вопросы энергоэффективности актуальны для всех отраслей экономики. Встраиваемые микроконтроллеры широко используются для автоматизации управления как бытовой техникой, так и системами коллективного пользования. Одним из мощных потребителей энергии в жилых и офисных зданиях являются лифты. Рассмотрим процесс построения модели системы управления, ориентированной на задачу оценки эффективности датчиков на примере пассажирского лифта.

Во второй половине 20 века города стали все быстрее расти ввысь, небоскребы начали вытеснять малоэтажные дома, особенно в деловых кварталах. Это породило проблему - как обеспечить перемещение в трехмерном пространстве? Конечно, люди еще с древности использовали для этих целей различные механизмы, которые и привели к появлению современных подъемников. Сегодня лифт — это в подавляющем большинстве случаев электрическая машина, которая занимает значительную площадь здания. Задача проектировщиков состоит не только в том, как обеспечить быстрое и комфортное перемещение пассажиров, но при этом нужно также минимизировать и площадь, занимаемую подъемниками, и затрачиваемую лифтами

энергию. Таким образом, проблема создания оптимальной лифтовой системы является комплексной. В научной литературе предлагаются различные подходы к ее решению.

Первоначально много внимания уделялось дизайну самих лифтов. Например, в статье [3] рассматриваются проблемы, связанные с проектированием, и формируются инструментальные уравнения для проектирования корпуса лифта. Сегодня же большинство работ посвящено проблемам оптимизации расположения шахт лифтов. В работе [4] представлен алгоритм, который позволяет выбрать из нескольких топологий этажа оптимальную, основываясь на минимизации вертикальных и горизонтальных перемещений пассажиров. Учет горизонтальных перемещений позволяет точнее минимизировать общее время обслуживания. В работе [5] используют такой же подход, как и в работе [4], но в качестве метода решения задачи предлагается генетический алгоритм, который оптимизирует количество и вместимость лифтов. Проблема определения положения пассажирских лифтов в коммерческом здании рассматривается в работе [6]. В ней типичный план этажа здания с характерным использованием пространства разбивается с помощью сетки на квадратные ячейки. Для каждой из ячеек рассчитывается индекс, который отражает ее расположение, плотность потока пассажиров, доступность в часы пиковой нагрузки и некоторые другие показатели. Значение этого индекса используется алгоритмом поиска, который сканирует все ячейки для нахождения ячейки с минимальным взвешенным расстоянием в евклидовой метрике от всех остальных ячеек пространства этажа. Эта ячейка и представляет оптимальное расположение лифта на плане этажа. Развивая метод, авторы рассматривают уже все этажи здания. При этом сетка становится трехмерной, а в функцию вычисления индекса добавлен учет временного распределения плотности пассажиров на каждом этаже. Процесс нахождения ячейки с минимальным значением индекса аналогичен плоской модели.

Приведенные примеры подходов к оптимизации лифтовых систем напрямую не влияют на функционирование системы управления. Важным вопросом при разработке лифтовых систем был и остается выбор стратегии управления. Существуют групповые и одиночные стратегии [8]. Для снижения числа параметров, влияющих на эффективность управления, при построении модели ограничимся только последними. Их можно разделить на простые и собирательные, при этом на этаже может находиться один или два датчика вызова. Предварительно определить требуемое направление перемещения можно только в случае использования двух датчиков. В модели реализованы следующие стратегии:

- простое управление (**SM**, Simple Management);
- одностороннее собирательное управление с одной кнопкой (вверх) (**U1U**, Unilateral Up Collection with 1 Button);

- одностороннее собирательное управление с одной кнопкой (вниз) (**U1D**, Unilateral Down Collection with 1 Button);

- одностороннее собирательное управление с двумя кнопками (Вверх) (**U2U**, Unilateral Up Collection with 2 Buttons);

- одностороннее собирательное управление с двумя кнопками (вниз) (**U2D**, Unilateral Down Collection with 2 Buttons);

- двустороннее собирательное управление с одной кнопкой (**B1**, Bilateral Collection with 1 Button);

- двустороннее собирательное управление с двумя кнопками (**B2**, Bilateral Collection with 2 Buttons).

Как правило, в жилых зданиях на этажах имеется только одна кнопка вызова лифта. Наличие второй кнопки позволяет определить требуемое пассажиру направление перемещения. Ее можно считать дополнительным источником информации для алгоритма управления. Кроме того, на этаже можно установить и простейший датчик, позволяющий по тепловому излучению определять количество пассажиров, ожидающих лифта.

Аналитически оценить влияние таких датчиков на эффективность управления не удастся, поскольку время обслуживания текущей заявки зависит от цепочки предшествующих событий, т.е. с формальной точки зрения процессы нельзя считать марковскими. Поэтому в качестве инструмента исследований выбрано имитационное моделирование, позволяющее оценивать влияние датчиков на эффективность различных стратегий управления лифтами.

В качестве параметров, определяющих эффективность управления, в модели используются следующие усредненные значения:

- время ожидания пассажиров;
- количество ненужных остановок;
- заполняемость лифта;
- соотношение реального и оптимального времени перемещения пассажиров.

### III. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

В качестве среды моделирования в работе использована система AnyLogic, позволяющая создавать модели, сочетающие различные парадигмы. В гибридной модели использованы агентный и дискретно-событийный подходы [9].

При создании модели применяется технология объектно-ориентированного программирования, предполагающая, что модель разделяется на две части – классы активных объектов и *java* класс. Модель содержит четыре класса: *дом*, *пассажиры*, *лифт* и класс *Main*.

На Рис. 1 приведена диаграмма состояний (*statechart*), определяющая взаимодействие переходов в процессе перемещения пассажиров. При изменении стратегии управления изменяются только условия срабатывания переходов.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модель реализует лифтовую систему десятиэтажного дома. Поток пассажиров соответствует характеристикам офисного здания - пассажиры перемещаются между этажами с равной вероятностью.

Для нахождения среднего времени ожидания в модели используется следующее выражение:

$$T_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_{out}^i - t_{inp}^i),$$

где  $t_{inp}^i$  - время появления пассажира на этаже вызова, а  $t_{out}^i$  - время выхода пассажира из лифта на этаже назначения. Остановка лифта на этаже считается ненужной, если в лифт не зашло или из него не вышло ни одного пассажира.

Результаты симуляций приведены в таблицах 1-3. Все временные параметры измеряются в секундах. Варьируемыми параметрами в ходе экспериментов являются: интервал времени между появлением пассажиров **IBP** (*Interval Between Passengers*), вместимость лифта **EC** (*Elevator Capacity*).

Кроме того, для каждой стратегии изменялось и время остановки лифта на этаже **ST** (*Stopping Time*).

Таблица 1

Влияние дополнительного датчика вызова на время ожидания пассажиров

IBP	EC	SM		UIU		U2U		U1D		U2D		B1		B2	
		ST=2	ST=5												
5	2	925	1185	632	823	635	841	621	827	618	834	629	846	626	844
	3	189	242	170	291	164	237	157	309	152	219	111	233	116	181
	4	117	158	108	159	104	142	105	180	105	151	72	119	64	102
	5	94	129	90	135	93	123	86	149	87	118	57	90	53	76
8	2	913	1183	317	791	303	801	274	809	280	805	296	783	295	804
	3	180	232	126	243	121	237	136	260	122	221	86	202	84	185
	4	120	157	98	156	103	136	99	166	92	140	64	112	59	100
	5	106	125	89	122	94	124	96	138	81	122	55	84	53	78
10	2	772	1108	206	423	209	450	193	441	169	487	160	411	156	395
	3	152	231	111	168	105	184	108	237	104	205	72	142	64	134
	4	109	163	96	138	87	133	91	161	85	143	56	88	52	82
	5	99	130	88	121	84	122	87	142	86	121	53	73	50	73

Таблица 2

Количество ненужных остановок

IBP	EC	UIU				U1D				B1			
		ST=2		ST=5		ST=2		ST=5		ST=2		ST=5	
5	2	9	1	5	5	13	5	4	6	7	4	7	3
	3	177	169	77	89	253	171	157	130	296	245	138	137
	4	237	265	194	163	380	318	246	203	406	361	216	232
	5	273	358	219	223	408	326	304	240	396	440	247	261
8	2	31	41	0	5	50	37	4	6	94	90	9	9
	3	193	202	76	99	354	265	160	97	379	324	141	145
	4	239	315	165	179	498	378	271	180	415	374	237	231
	5	278	356	190	201	515	396	294	239	454	448	280	250
10	2	64	111	20	18	200	121	27	18	225	233	24	37
	3	193	247	109	131	410	336	227	145	424	413	184	208
	4	268	333	192	205	476	350	311	219	432	434	268	286
	5	290	334	229	275	509	419	344	283	425	442	260	307

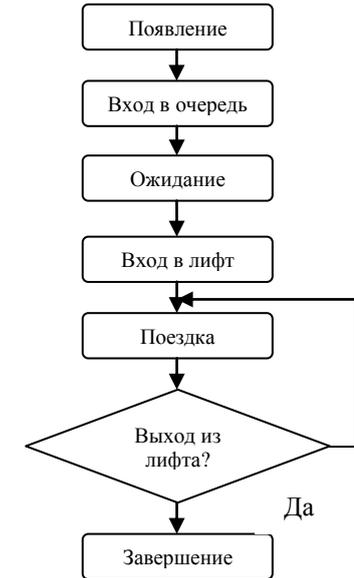


Рис. 1. Стейтchart класса пассажиры

Влияние счетчика числа пассажиров на время ожидания

IBP	EC	SM		U1U		U2U		U1D		U2D		B1		B2	
		ST=2	ST=5												
5	2	941	1193	628	835	646	840	639	854	638	852	622	863	620	838
	3	148	250	137	212	123	203	136	201	132	192	100	207	98	180
	4	102	142	90	134	87	119	87	129	87	120	63	114	58	96
	5	77	111	78	113	73	103	73	112	71	106	52	87	49	73
8	2	906	1154	273	822	225	815	260	777	263	803	214	804	223	795
	3	145	201	109	219	98	176	103	186	93	188	73	198	66	149
	4	86	126	86	142	73	119	79	127	74	118	54	101	50	88
	5	75	102	76	110	69	102	75	109	70	103	49	80	45	73
10	2	699	1149	140	456	132	403	156	395	135	382	108	422	103	348
	3	116	170	86	161	78	159	81	158	77	148	56	128	53	110
	4	82	121	72	118	70	114	72	114	69	111	47	91	45	75
	5	75	100	71	110	67	102	70	109	65	100	46	76	44	68

## V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наличие второго датчика вызова в собирательных стратегиях необходимо для избегания ненужных остановок. Наши исследования показали, что при стационарном потоке заявок это позволяет снизить среднее время ожидания пассажиров не более чем на 10% (табл. 1). При этом сокращение количества ненужных остановок составляет более значимую величину, порядка 20% (табл. 2). Если учесть и влияние усложнения стратегии, например переход от **SM** к **B2**, то выигрыш во времени ожидания составит уже 50%, что можно оценивать как существенное влияние на качество обслуживания.

Установка на этажах датчиков количества пассажиров приводит к необходимости внесения изменений в сами стратегии. При выборе очередного объекта обслуживания появляется дополнительный критерий – количество пассажиров на этаже вызова. В исследуемых стратегиях предпочтение отдавалось вызову с максимальным числом пассажиров. Сравнивая результаты моделирования из табл. 1 с соответствующими значениями из табл. 3, можно оценить влияние датчика. Величина снижения среднего времени ожидания составляет 15-20%.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают эффективность применения гибридного имитационного моделирования для оценки влияния датчиков на систему управления. Однако при любых изменениях объекта управления моделирование необходимо проводить повторно. Это не приведет к существенным издержкам, поскольку модель обладает свойствами вариативности параметров. Агентная компонента модели позволяет персонализировать характеристики поступающих на обслуживание заявок при необходимости детализации расчетов.

## ПОДДЕРЖКА

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-го проекта РФФИ № 13-07-00661 «Использование распределенных вычислений в задачах анализа устойчивости систем управления».

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Невский Диалект, 2001. 557 с.
- [2] Трофимов А.И., Егупов Н.Д., Дмитриев А.Н. Методы теории автоматического управления, ориентированные на применение ЭВМ. Линейные стационарные и нестационарные модели: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1997. 656 с.
- [3] Marmot A. and Gero J.S. Towards the development of an empirical model of elevator lobbies // Building Science. 1974. Vol. 9. № 4. P. 277-287.
- [4] Goetschalckx M. and Irohara T. Formulations and optimal solution algorithms for the multi-floor layout problem with elevators // Proceedings of IIE Annual Conference and Expo 2007 – Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World. 2007. P. 1446-1452.
- [5] Matsuzaki K., Irohara T. and Yoshimoto K. Heuristic algorithm to solve the multi-floor layout problem with the consideration of elevator utilization // Computers and Industrial Engineering. 1999. Vol. 36. № 2. P. 487-502.
- [6] Markos P. and Dentsoras A. Floor circulation index and optimal positioning of elevator hoistways // KES'2010 14-th Annual KES Conference, Invited Session for Methods and Techniques of Artificial and Computational Intelligence in Engineering Design. Cardiff, Wales, UK. September 8-10, 2010.
- [7] Манухин С.Б., Нелидов И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов. М.: Академия, 2004. 336 с.
- [8] Сайт системы моделирования AnyLogic. URL: <http://www.xjtek.com> (дата обращения: 15.01.2014).
- [9] Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.