ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ОШИБОК В АППАРАТУРЕ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

С. А. Попова, В. Я. Сидоренко

Северодонецк

Передаваемая по каналу магнитной записи цифровая информация в виде двоичной последовательности $X(t)$ в результате воздействия помех преобразуется на выходе канала в

$$X'(t) = X(t) + e(t).$$

Последовательность ошибок $e(t)$ является случайной двоичной последовательностью (потоком ошибок), в которой «единицы» соответствуют ошибочно воспроизведенным элементам, а «нули» — правильно воспроизведенным элементам последовательности $X'(t)$.

Обычно основным параметром, характеризующим качество канала магнитной записи, считают вероятность ошибочного воспроизведения элемента сообщения за длительный промежуток времени [1]. Однако неравномерность распределения ошибок (группирование ошибок) вдоль магнитной дорожки и по строке (в случае, если цифровая информация записывается параллельным кодом с регистрацией каждого разряда на отдельной дорожке носителя) свидетельствует о более тонкой структуре возникновения ошибок.

Сбор статистических данных о характере распределения ошибок позволит создать статистическую модель возникновения ошибок в канале магнитной записи. Знание вероятностной структуры потока ошибок необходимо при определении помехоустойчивости систем магнитной записи, выборе оптимальных корректирующих кодов, способов записи и обработки информации.

Постановка эксперимента

Для получения статистических данных о распределении ошибок при записи, хранении и считывании цифровой информации в каналах магнитной записи, необходимых при разработке внешних накопителей ЭВМ, были исследованы накопители на магнитных барабанах (НМБ) ЭВМ «Урал-4» [2]. Программным способом были найдены случайные числа, которые записывались в оперативную память машины (ОЗУ) и на НМБ, а затем считывались и сравнивались поэлементно. Результирующая последовательность, содержащая «1» на местах ошибочно считанных элементов, регистрировалась печатающим устройством машины, а также перфоратором.

Регистрирующими устройствами фиксировались и ошибочно принятые элементы, и участки с неискаженными элементами. Это позволило при обработке результатов эксперимента найти распределение ошибок: число неискаженных элементов перед группой ошибок; длину группы ошибок; число ошибок в группе.

Результаты эксперимента

Средняя вероятность ошибок в канале магнитной записи НМБ составляет $6{,}65 \cdot 10^{-8}$. Однако она дает только ориентировочное представление о канале накопителя. Наряду с другими причинами достоверность зависит от типа аппаратуры записи-считывания, ее состояния, правил эксплуатации и технической дисциплины обслуживающего персонала.

Канал магнитной записи исследуемого НМБ несимметричен: вероятность ошибки вида $1 \to 0$ составляет $P_{1\to 0} = 0{,}63$, вероятность ошибки вида $0 \to 1 - P_{0\to 1} = 0{,}37$.

В табл. 1 даны обобщенные результаты испытаний канала магнитной записи НМБ.

Таблица 1

Тип канала	Количество переданных элементов	Время испытаний, ч	Количество ошибок			Средняя вероятность ошибки
			1 → 0	0 → 1	Всего	
НМБ	26000000000	433,5	1091	640	1731	$6{,}65 \cdot 10^{-8}$

Как и в любом дискретном канале с памятью, в канале магнитной записи ошибки распределяются неравномерно во времени, но имеют групповой характер. Большую часть времени информация по каналу магнитной записи проходит без искажения. В табл. 2 показано распределение ошибок для канала магнитной записи НМБ за часть времени испытаний (в скобках обозначены ошибочно считанные элементы, а между скобками — число правильно считанных элементов). Таблица 2

Номер группы	Количество правильно считанных элементов перед группой ошибок	Группы ошибок			
		Количество ошибок	Количество правильно считанных элементов	Длина группы	Структура группы
1	301 240 491	4	5	9	(1) 3 (1) 2 (2)
2	416 131	5	3	8	(3) 3 (2)
3	168 070 697	4	0	4	(4)
4	171 416	1	0	1	(1)
5	382 477	12	11	13	(1) 1 (1) 1 (2) 3 (1) 1 (3) 1 (1) 1 (1) 2 (1) 1 (1)
6	3 805 263	1	1	1	(1)
7	85 095 457	7	10	17	(2) 2 (1) 1 (1) 1 (1) 1 (1) 5 (1)
8	9 520 440	4	22	26	(1) 4 (1) 14 (1) 4 (1)
9	19 574	1	0	1	(1)
Всего	26 000 000 000	1731	4157	5888	

За время испытаний было зафиксировано 250 групп ошибок *. Характерно, что группы ошибок чаще всего бывают двух видов: одиночная ошибка (такую одиночную ошибку будем тоже называть группой ошибок длиной в один элемент); группы с числом ошибок от 2 до 10.

* Под группой ошибок понимается совокупность элементов, отстоящая от соседней совокупности элементов на длину не менее 64 безошибочно принятых элементов; под длиной группы — число элементов от первого до последнего ошибочно принятого элемента включительно.

Групп с малым числом ошибок (до 10 элементов) — 216. Остальные 34 имеют число ошибок более 10. Среди них 19 групп с числом ошибок от 11 до 15, 7 групп — от 16 до 20. Лишь 3 группы имеют число ошибок больше 50: 63, 87 и 263. Несмотря на то, что «длинных групп» (с числом ошибок больше 10) всего 34, в них сосредоточено больше половины зафиксированных ошибок (52,6%).

В табл. 3 приведены обобщенные результаты испытаний канала магнитной записи НМБ, причем цифры для двух накопителей объединены ввиду идентичности условий испытаний и одинаковой структуры потока ошибок.

Таблица 3

Количество переданных элементов	Количество ошибок	Количество групп ошибок	Суммарная длина групп ошибок	
			Общее число	В частях от общего числа переданных элементов
26 000 000 000	1731	250	5888	$22{,}6 \cdot 10^{-8}$

Как уже отмечалось, группы с малым числом ошибок наблюдаются чаще (86,4% от всего числа групп). Несмотря на это объем ошибок

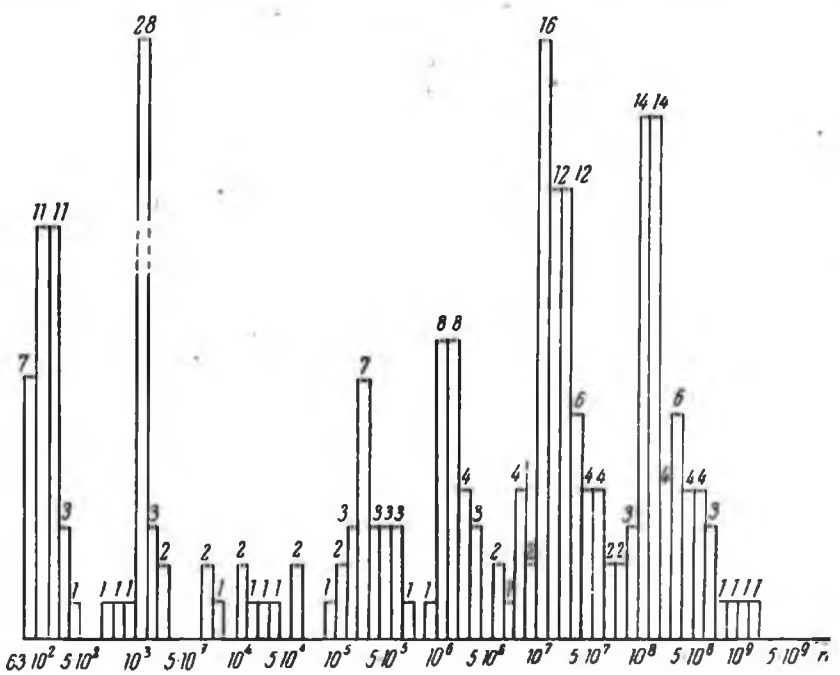

Рис. 1. Гистограмма числа правильных элементов перед группой ошибок.

в них составляет меньше половины всех зафиксированных ошибок (47,4%). Суммарная длина групп ошибок незначительна: $22{,}6 \cdot 10^{-3}$ для всех групп и $9{,}73 \cdot 10^{-8}$ для коротких групп.

На рис. 1 показана гистограмма числа правильных элементов перед группой ошибок. По оси абсцисс отложены длины неискаженных участков, выраженные числом записанных элементов n, по оси ординат — частость появления неискаженных участков. Группы ошибок распреде-

лены неравномерно. Так, 14,4% групп ошибок появляются чаще, чем через 1000 элементов; 46% групп реже, чем через 10^7 элементов, и 6% групп не чаще, чем через $5 \cdot 10^8$ элементов. Отмечены случаи, когда группы ошибок появлялись после 10^9 элементов безошибочной работы. Самый длинный зарегистрированный неискаженный участок составлял 2 073 973 265 элементов.

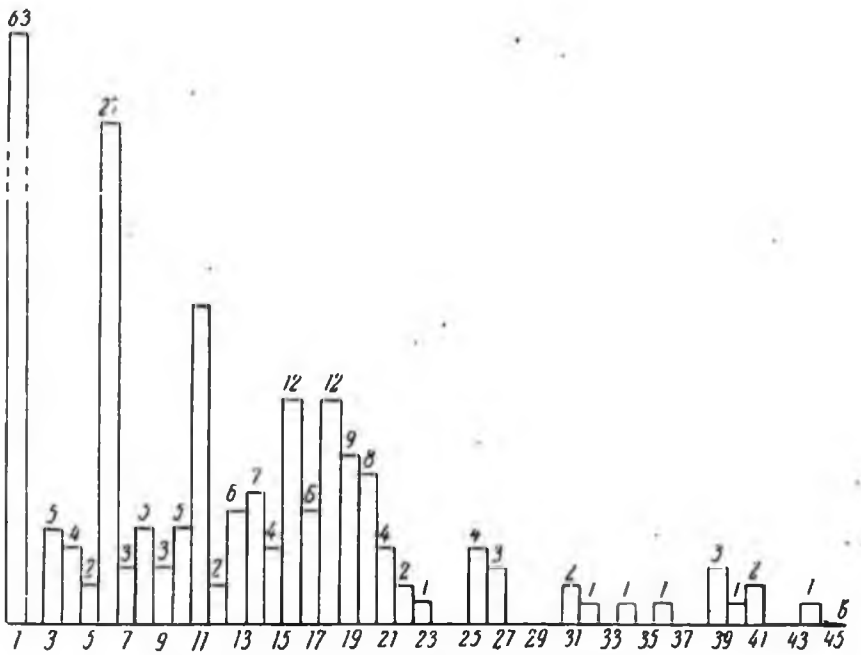

Рис. 2. Гистограмма длин групп ошибок.

На рис. 2 представлена гистограмма длин групп ошибок. По оси абсцисс отложены длины групп ошибок, выраженные числом записанных элементов b, по оси ординат — частость появления групп ошибок. Около четверти (25,2%) всех групп ошибок составляют группы в один элемент; 54,8% — от 3 до 20 элементов и 14,4% — свыше 30 элементов. Последние состоят, как правило, из нескольких групп ошибок, разделенных неискаженными участками длиной меньше 64 элементов. Так, например, группа ошибок из 39 элементов — (1)25(1)4(1)2(1)4(1) — состоит из двух групп, разделенных неискаженным участком длиной в 25 элементов.

На рис. 3 показана гистограмма числа искаженных элементов m в группах ошибок. Характер распределения групп с различным числом ошибок следующий: группы с числом искаженных элементов больше 50 составляют 1,2%; группы с числом искаженных элементов от 2 до 10 — 60,9%; наибольшее число составляют группы с одной ошибкой — 25,2%.

Анализ результатов эксперимента

Исследование статистических характеристик ошибок в реальном канале магнитной записи цифровой информации НМБ показало, что на «фоне» независимых (одиночных) ошибок с вероятностью появления 10^{-9} возникают плотные группы ошибок с вероятностью искаженных элементов 0,1—0,8.

Рассмотрение результатов эксперимента позволяет предположить, что каждая группа взаимосвязанных ошибок (группа ошибок) вызывается своей (независимой от других) физической причиной, которую мы будем называть возмущением. Поскольку возникновение возмущений — независимые события, можно говорить о простейшем потоке возмущений или о простейшем дискретном потоке групп ошибок.

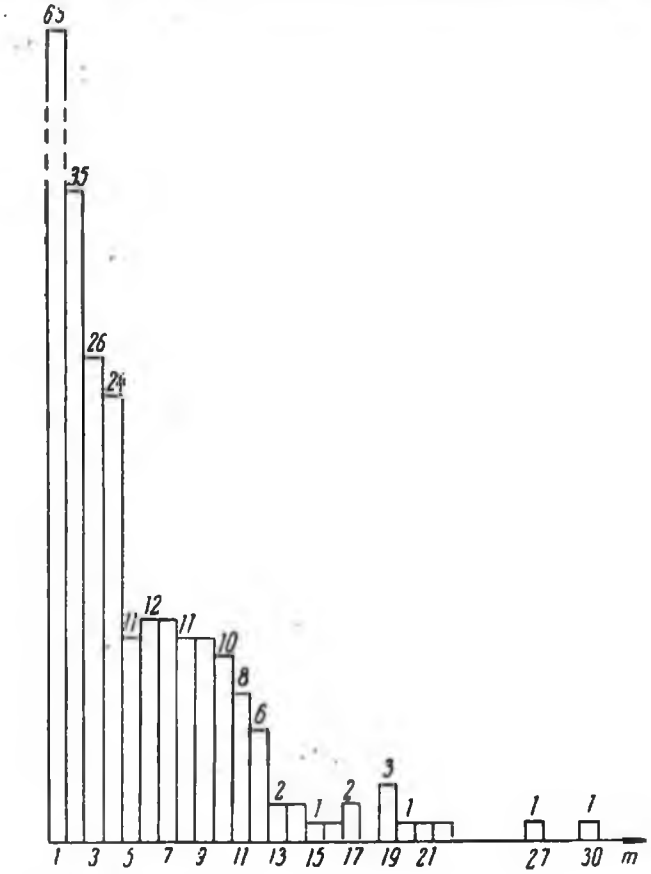

Рис. 3. Гистограмма числа искаженных элементов в группах ошибок.

Анализ результатов позволяет также предположить, что момент возникновения возмущений никак не связан с их длительностью. Внутри группы ошибок поток ошибок в первом приближении достаточно стационарен. Поэтому с удовлетворительной для практики точностью группу ошибок можно охарактеризовать средней вероятностью появления ошибок внутри группы.

При указанных предположениях вероятностная структура потока ошибок может быть задана тремя параметрами; вероятностью появления групп ошибок; распределением длин групп ошибок; вероятностью ошибки внутри группы.

Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. При передаче цифровой информации по каналу магнитной записи НМБ ошибки распределяются неравномерно и, как правило, имеют групповой характер. Группы ошибок возникают на «фоне» независимых одиночных ошибок.

2. Средняя вероятность ошибочного воспроизведения элемента цифровой информации является переменной величиной во времени и дает только ориентировочное представление о канале магнитной записи НМБ. Поэтому оценка методов записи по средней вероятности ошибки недостаточна для полного описания канала магнитной записи.

3. Вероятностная структура потока ошибок в канале магнитной записи НМБ может быть задана тремя параметрами: вероятностью появления групп ошибок, функцией распределения длин групп ошибок и вероятностью ошибок внутри группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Князев. Некоторые вопросы надежности запоминающих устройств с магнитной лентой. Сб. «Цифровая техника и вычислительные устройства». Изд-во АН СССР, 1962, № 2.

2. С. А. Попова. Статистика ошибок, возникающих во внешних накопителях ЭВМ. «Приборы и системы управления», 1969, № 2.

СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ВОЗМУЩЕНИЙ

А. Н. Гвоздинский

Харьков

В работе решается задача синтеза систем управления объектами, обладающими следующими особенностями: стохастическим характером действующих на объект возмущений, инерционностью (постоянные времени — час и более), неминимально-фазовой природой (наличием нулей в правой полуплоскости корней), измерением регулируемых параметров со значительным запаздыванием. Объекты, обладающие совокупностью этих свойств, встречаются во многих отраслях промышленности, например, добычные участки шахт как объекты проветривания, печи кальцинации, выпарные станции в гидрометаллургии (производстве глинозема, коксохимическом производстве), в производстве абразивных изделий и т. д. Каждое из перечисленных свойств связано с определенными трудностями и требует особого подхода при постановке задач синтеза и при физической реализации систем автоматического управления рассматриваемым классом объектов. Если неизвестны и не могут быть измерены вероятностные характеристики входных воздействий, то синтез системы управления объектом весьма трудоемок. Большая длительность переходных процессов в объектах требует построения алгоритмов управления, оптимальных по длительности при соблюдении необходимого качества.

Трудности при автоматизации неминимально-фазовых объектов вызваны тем, что их начальная реакция на входное ступенчатое воздействие направлена в сторону, противоположную новому установившемуся значению. Синтез оптимального управления подобными объектами показывает, что «всплеск» регулируемого параметра в сторону рассогласования в начальный период действия управляющего воздействия может быть значительно уменьшен, если объектом управлять по оптимальным алгоритмам. Однако и такой способ не избавляет нас от ошибки управления.

Как известно, значительные преимущества в смысле минимизации ошибки (интегральной или среднеквадратичной) имеют инвариантные