

KAIRYO-KAIZEN- И РСМ-DM-СИСТЕМЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. ЧАСТЬ 2

А.К. СЕВАСТЬЯНОВ

Рассматривается системный подход к анализу РСМ-DM- систем на примере импульсно-кодовой модуляции, дельта- модуляции, полномерно-разностного кодирования. Проведён анализ РСМ-DM-систем на примере системного подхода в сфере цифровой связи и телеизмерений. Эти системы основаны на представлении непрерывных сообщений в виде полномерно-разностных отсчётов и обладают следующими системными принципами: последовательного кодирования; параллелизма; развертки; слежения; многозначности; обнаружения разладки; регенерации; робастности; неопределённости. Рассматриваемые принципы являются методической основой построения процессов (и/или систем) с быстро стареющей информацией (менеджмент процессами, менеджмент временем, менеджмент стоимостью). Правильные системные принципы обладают способностью адаптации к системам любого иерархического уровня и любой предметной области, т.е. такие принципы являются жизнеспособными и универсальными.

РСМ-DM–системы основаны на параллельном применении «полномерных» и «разностных» отсчетов. Совместное параллельное применение разных форм представления информации об одном и том же процессе позволяет своевременно обнаруживать ошибки и осуществлять их коррекцию, что обеспечивает конкурентные преимущества системы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РСМ-DM-СИСТЕМ

РСМ-СИСТЕМЫ (Импульсно-кодовая модуляция). РСМ-системы — системы на основе импульсно-кодовой модуляции, являющиеся основой развития современных информационных и телекоммуникационных технологий. Они основаны на представлении непрерывных сообщений в виде полномерных отсчетов [1, 2].

DM-СИСТЕМЫ (Дельта-модуляция). DM-системы — системы на основе дельта-модуляции, имеют более узкую направленность и их применение является оптимальным в задачах передачи квазистационарных сообщений в пределах ограниченного динамического диапазона. Эти системы основаны на представлении непрерывных сообщений в виде приращений [3–4].

РСМ-DM-СИСТЕМЫ (Полномерно-разностное кодирование). РСМ-DM-системы — это новый класс комбинированных систем, который стал возможен при условии применения инструментов структурной и информационной избыточности [5–15]. Эти системы позволяют достигать прин-

ципиально нового системного эффекта по сравнению со своими аналогами. Эти системы основаны на представлении непрерывных сообщений в виде полномерно-разностных отсчетов и обладают следующими системными принципами [16]: последовательного кодирования, параллелизма, развертки, слежения, многозначности, обнаружения разладки, регенерации, робастности, неопределенности.

На примере системы дискретной передачи и приема непрерывных сигналов рассматривается задача связанная с быстропротекающими процессами, где время реакции процесса (или системы) играет первостепенную роль в решении функциональной задачи. Все эти вопросы должны рассматриваться во взаимосвязи с качеством и стоимостью. Таким образом, мы имеем треугольник: качество (помехоустойчивость), сроки (время), стоимость (деньги). При этом под качеством в данном примере понимается способность системы функционировать в условиях мешающих факторов (помех в канале связи), т.е. достигать меньших потерь при прочих равных условиях. Рассматриваемые принципы являются методической основой построения процессов (и/или систем) с быстро стареющей информацией (менеджмент процессами, менеджмент временем, менеджмент стоимостью).

Для представления хода развития работ по исследованию разностных методов кодирования и передачи непрерывных сообщений приведем некоторые источники, указав при этом приоритет автора. Первые публикации, в которых исследовалась возможность применения разностного кодирования для передачи по каналам связи, относятся к 60–70 годам XX ст. [17–20]. Первое техническое решение, где рассматривалась коррекция ошибок при дельта-модуляции, было предложено Р.Т. Сафаровым и В.В. Гладченко [21], а совместное применение полномерных и разностных отсчетов — В.Б. Реутовым и А.К. Севастьяновым [12–13]. В [14] автором впервые был предложен принципиально новый (дельта-число-импульсный) метод совместного применения полномерных и разностных отсчетов в системах связи, а в [15] — его модернизация. Значительный вклад в исследование помехоустойчивости разностных методов внесли работы [17–30].

Качественное кодирование аналоговых сообщений (телеизмерение, речь, изображение) в цифровых сетях связи требует решения проблем кодирования для источника и канала. Традиционно эти задачи решались отдельно. Стремление уменьшить задержку (запаздывание) в канале связи, обеспечить сжатие и помехоустойчивость при передаче информации делает актуальной решение проблемы совместного кодирования для источника и канала. Подобная постановка проблемы ставилась еще Л.М. Финком [26]. По каналу с шумом передаются измеренные значения некоторой функции времени. Получатель должен знать, какие значения принимает функция в каждый момент без задержки. Если передавать сигналы без помехоустойчивого кодирования, то задержка будет очень мала, и экстраполируя принятый сигнал, получатель смог бы хорошо оценивать нужные ему значения функции, если бы не помехи, вносящие заметные ошибки. Для защиты от этих ошибок можно ввести помехоустойчивое кодирование, но тогда задержка сигнала значительно увеличится, экстраполировать придется на больший интервал времени, и появятся ошибки экстраполяции. Требуется найти оптимальный метод кодирования, минимизирующий суммарную ошибку от помех и экстраполяции. Решение, конечно, должно зависеть от характеристик канала и корреляционной функции передаваемого сообщения. Оно внесло

бы серьезный вклад в построение раздела теории связи, посвященного передаче стареющей информации [26]. Таким образом, сформулирована постановка задачи совместного кодирования для источника и канала.

В данной работе формулируются подходы, на которых основано совместное кодирование для источника и канала, то есть передающая и приемная части синтезируются с учетом особенностей сигнала источника $X(t)$ и помех в канале связи $Y(t)$ при критерии минимальной задержки в тракте передачи $\min T$ и умеренной сложности аппаратных средств. Будем считать, что после кодирования источника традиционным способом сообщение обладает статистической избыточностью и определяется объемом сообщения $Q_{\text{исх}}$. При кодировании источника специальными методами достигается сжатие, в результате чего имеем $Q_{\text{сж}} = Q_{\text{исх}} - Q_1$, где Q_1 — объем избыточной информации, устраняемой из сообщения. При кодировании для канала осуществляется целенаправленное введение избыточности $Q_{\text{кч}} = Q_{\text{сж}} + Q_2$, где Q_2 — объем сообщения, направленный на обеспечение требуемой помехоустойчивости. При критерии минимальной задержки в тракте передачи $\min T$ такая постановка задачи значительно усложняется. Совместное решение задачи устранения избыточности и использования избыточности для повышения качества передачи представляет сущность проблемы совместного кодирования для источника и канала. Подход по использованию остаточной избыточности для проектирования совместного кодера источник-канал рассматривается в [5–11, 14, 15].

В настоящее время известно большое многообразие способов преобразования аналогового сигнала в цифровой. Степень их пригодности определяется конкретными условиями эксплуатации и назначением системы. Все способы основаны на использовании одного из видов модуляции: импульсно-кодовой модуляции (PCM) [1], дельта-модуляции (DM) [3, 4] и дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (DPCM) [29]. Кроме того, способы различаются видом обработки аналогового сигнала перед аналого-цифровой модуляцией и видом последующей обработки первичного сигнала. Методы сжатия принято разделять на два принципиально различных класса: на основе избыточности (PCM, DM, DPCM) и на основе кодирования с преобразованием, а также методы, основанные на комбинации обоих классов. Однако в любом случае при передаче информации в традиционных методах представление сигнала осуществляется либо в полномерной, либо в разностной форме. Известна также классификация адаптивных методов представления, в основе которой лежат однопараметрическая и многопараметрическая адаптации (ДОНТ-системы) [23, 27]. Согласно классификации методов кодирования непрерывных сигналов, выделяют: полномерные (PCM, 1937 г.), разностные (DM, DPCM — 1946 г., 1952 г.) и полномерно-разностные (PCM-DM, PCM-DPCM — 1973 г., 1980 г., 1989 г.) методы. Отличительная особенность данной классификации заключается в том, что автором впервые в особую группу выделены полномерно-разностные методы [5–15].

Выполненные обобщения и систематизация методов позволяют проводить формальный синтез новых структурных решений. Повышение качества функционирования устройств (или систем) совместного кодирования для

источника и канала при заданной элементной базе достигается методами структурной и информационной избыточности. Множество структурных решений реализации методов данного класса может быть задано матрицей $\|Z_{ij}\|$, где $i = 1, n$ — показатель структурной избыточности (например, число параллельно включаемых аналого-цифровых преобразователей), а $j = 1, m$ — показатель информационной избыточности (например, число типов маркерных сигналов). В [10] приводится краткое описание инновационных структурных решений, полученных на основе формального синтеза.

В данной работе РСМ-ДМ-системы рассматриваются как инновация в области связи. В [6–9] предлагаются принципы построения оригинальных технических решений по организации систем дискретной передачи и приема непрерывных сигналов в реальном времени и в условиях интенсивных внешних мешающих факторов (помех в канале связи). Методы основаны на использовании преимуществ импульсно-кодовой модуляции (РСМ) и дельта-модуляции (ДМ). Отличительная особенность технических решений заключается в снижении последствий от ошибок накоплений, присущих разностным методам. Данные технические решения позволяют обнаруживать ошибки, а также осуществлять их коррекцию. Методы обладают робастными и криптографическими свойствами и могут найти применение в высококачественных системах телеизмерения, передачи речи и изображений и т.п. Новизна технических решений защищена патентами.

РСМ-ДМ-системы основаны (рис. 1) на совместном использовании преимуществ импульсно-кодовой модуляции (РСМ — 1938 г.) и дельта-модуляции (ДМ — 1946 г.). Отличительная особенность новых технических решений (РСМ-ДМ — 1973, 1980, 1989 гг.) [12–15] заключается в снижении последствий от накопления ошибок, присущих разностным методам. Данные технические решения позволяют обнаруживать ошибки, а также осуществлять их коррекцию.

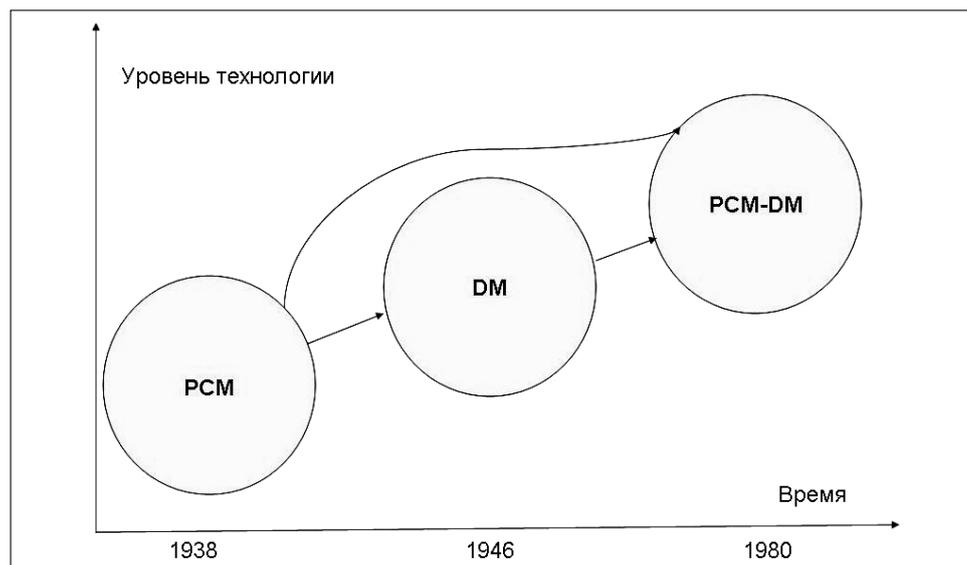


Рис. 1. Процесс образования РСМ-ДМ-системы

PCM-DM-системы основаны на следующих принципах [16, 6–9] (рис. 2): 1) последовательного кодирования; 2) параллелизма; 3) развертки; 4) слежения; 5) многозначности; 6) обнаружения разладки; 7) регенерации; 8) робастности и 9) неопределенности. PCM-DM-системы ориентированы для передачи быстро стареющей информации (телеметрия, передача речи и изображений), а их принципы построения могут найти применение в других приложениях.

Дискретная передача и прием непрерывного сигнала на основе дельта-модуляции с периодическим сбросом дельта-модулятора была предложена в 1971 г. [21], а полномерно-разностное кодирование в 1973 г. при разработке устройства для магнитной записи и воспроизведения измерительной информации [12, 13]. Однако предложенная форма представления информации не обеспечивала необходимой динамической точности и надёжных характеристик. В данных технических решениях опорная координата $v_1 = \lambda_{1\text{кв}}$ передается поразрядно в промежутках между выборками v_i ($i = 2, 3, \dots, v$). Это представление было названо инкрементно-ординатным, так как в структуре передаваемой информации наряду с приращениями передается полное значение кода ординаты, то есть опорная выборка. Такое представление непрерывного сообщения, хотя и обеспечивает коррекцию ошибок накопления, требует значительных затрат аппаратных средств и вносит большую избыточность и задержку кода коррекции. Таким образом этот вид представления снижает динамические свойства дельта-представления. Принципиально новый полномерно-разностный метод дискретной передачи и приема непрерывных сообщений и структура устройства для его реализации были предложены в 1980 году [14]. Дальнейшие исследования были связаны с развитием именно этого метода кодирования [5–11, 15]. Базовый полномерно-разностный (комбинированный, дельта-число-импульсный) метод совместного кодирования для источника и канала основан на использовании положительных свойств разностного и число-импульсного последовательных кодов, их объединении и формировании дельта-число-импульсного последовательного кода, включающего как полномерные, так и разностные отсчеты. Этот код формируется путем организации параллельной работы преобразователей (процессов) развертывающего и следящего уравнивания и выдачи в канал связи приращений, а в момент сравнения сигнала развертки с сигналом источника вместо очередного приращения выдачи в канал связи маркерного сигнала с селективирующим признаком, отличным от того, который принят для передачи приращений. Число приращений между маркерными сигналами пропорционально значению полномерного отсчета, а сами приращения обеспечивают передачу разностных отсчетов. Прием разностных отсчетов обеспечивает высокую чувствительность системы, малую задержку при передаче тонкой структуры сигнала, а достоверный прием полномерного отсчета позволяет обнаруживать и корректировать возможные перегрузки по крутизне и накоплению ошибок в канале связи. Совместное кодирование для источника и канала не требует существенной буферной памяти и обеспечивает работу системы на пределе чувствительности элементной базы с минимальными информационными потерями.

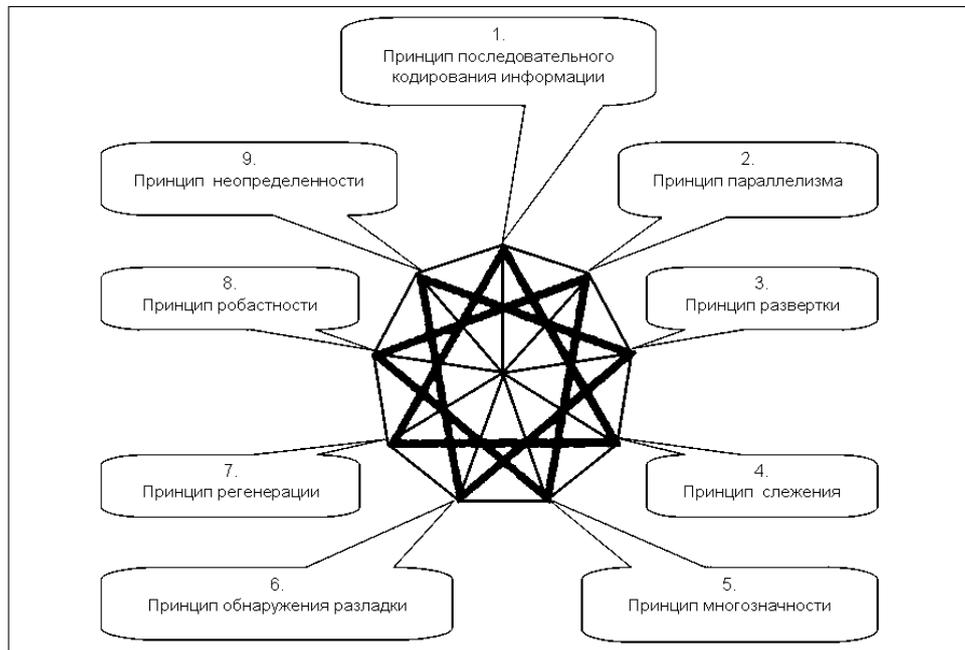


Рис. 2. Принципы построения PCM-DM-систем

На рис.3 представлена таблица, показывающая особенности применения PCM и DM.

№	Импульсно-кодовая модуляция	Дельта-модуляция
1	Полномерное измерение (полномерный отсчет)	Разностное измерение (разностный отсчет)
2	Большое количество разрядов в отсчете	Один бит в отсчете
3	Необходима передача маркерного сигнала (цикловая синхронизация)	Дополнительные сигналы отсутствуют
4	Внимание к большим скачкам сигнала	Внимание к деталям сигнала
5	Высокая технологическая сложность	Простая реализация
6	Очень высокая информационная избыточность.	Хорошо описывает квазистационарные сигналы в пределах ограниченного динамического диапазона
7	Ошибки в старшем разряде приводят к большим погрешностям в измерении	Хорошо описывает квазистационарные сигналы в пределах ограниченного динамического диапазона
8	Большое запаздывание (большая задержка)	Минимальное запаздывание (минимальная задержка)
9	Большие весогабаритные параметры	Минимальные весогабаритные параметры
10	Высокое энергопотребление	Минимальное энергопотребление

Рис. 3. Сравнение PCM и DM

В качестве примера реализации на рис. 4 приведены эпюры процедур кодирования, передачи, искажения и восстановления непрерывного сигнала с помощью известного (а,б,в,г) [21] и предложенного (д,е,ж,з) [14] методов. Рассматриваемые процедуры приводятся в предположении достоверной передачи маркерного сигнала M , который может быть представлен, например, амплитудой более высокого уровня, по сравнению с амплитудой сигнала, принятого для передачи приращений.

В известном методе коррекции ошибок накоплений [21], при передаче периодически и кратковременно через определенные промежутки времени вместо исходного сигнала на вход дельта-преобразователя подается нулевой

уровень входного сигнала с одновременным закорачиванием выхода цепи обратной связи дельта-преобразователя, а при приеме синхронно с указанной операцией закорачивается выход интегратора приемника. Синхронный режим обеспечивается применением системы посимвольной синхронизации от генератора тактовой частоты на приемной стороне с последующим делением этой частоты в зависимости от периодичности коррекции. На рис. 4 (а, б, в, г) приведены эпюры процедур кодирования, передачи, искажения и восстановления непрерывного сигнала с помощью данного метода. Из этого рисунка видно, что для выбранной помеховой ситуации характерна существенная погрешность как от перегрузки по крутизне S_1 в момент формирования полной выборки, так и от накопления ошибок S_2 за время цикла регенерации. Объем информации за время цикла регенерации при данном методе коррекции определяется выражением: $I[V] = I[V_1] + I[V_v] = m + n - 1$, где $I[V_1] = \lceil \log_2 M \rceil = m$ — объем первой выборки, а остальных выборок $I[V_v] = 1$ двоичных символов, $v = 2, 3, \dots, n$.

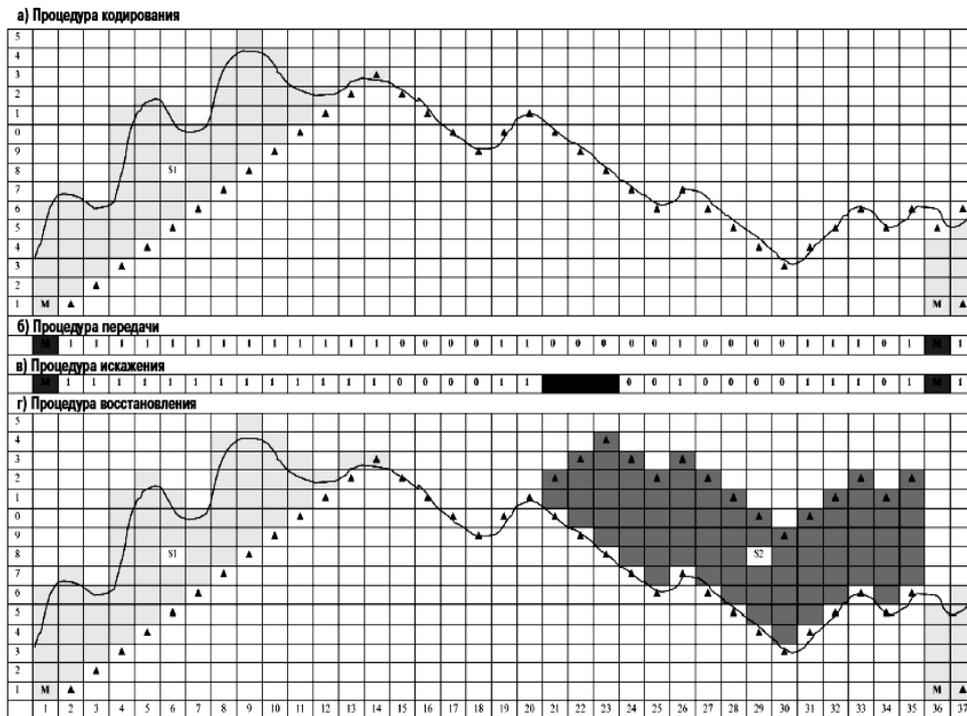


Рис. 4 (а, б, в, г). Эпюры процедур передачи и приема при дельта-модуляции

При наличии шума оценка $\lambda_{v_{KB}}^*$ находится по соотношению:

$$\lambda_{v_{KB}}^* = \lambda_{1_{KB}}^* + \sum_{i=2}^v \alpha_i^* h_{KB}, \text{ где } h_{KB} \text{ — шаг квантования по уровню, а}$$

$$\alpha_i^* = \begin{cases} +1, & \text{если соответствующий символ 1;} \\ -1, & \text{если соответствующий символ 0.} \end{cases}$$

Средний объем опорной выборки m_{cp} при равномерном законе распределения входного сигнала определяется как

$$I[V_1] = m_{\text{ср}} = \left\lceil \frac{\lambda_{\text{шк}}}{2h_{\text{кв}}} \right\rceil,$$

где $\lambda_{\text{шк}}$ — диапазон шкалы квантования.

Использование данного метода не позволяет осуществлять передачу непрерывного сигнала после сброса интегратора в дельта-преобразователе до тех пор, пока преобразователь повторно не перейдет в режим слежения. С целью устранения недостатков, указанных в приведенном методе, предложен новый метод дискретной передачи непрерывных сигналов [14], который основан на совмещении положительных свойств дельта-кода и число-импульсного кода.

Базовый полномерно-разностный (интегрированный, комбинированный, дельта-число-импульсный) метод совместного кодирования для источника и канала основан на использовании положительных свойств разностного и число-импульсного последовательных кодов, их объединении и формировании дельта-число-импульсного последовательного кода, включающего как полномерные, так и разностные отсчеты. Этот код формируется путем организации параллельной работы процедур развертывающего и следящего уравнивания и выдачи в канал связи приращений, а в момент сравнения сигнала развертки с сигналом источника вместо очередного приращения выдачи в канал связи маркерного сигнала с селективирующим признаком, отличным от того, который принят для передачи приращений. Число приращений (рис. 4 (д, е, ж, з)) между маркерными сигналами пропорционально значению полномерного отсчета, а сами приращения обеспе-

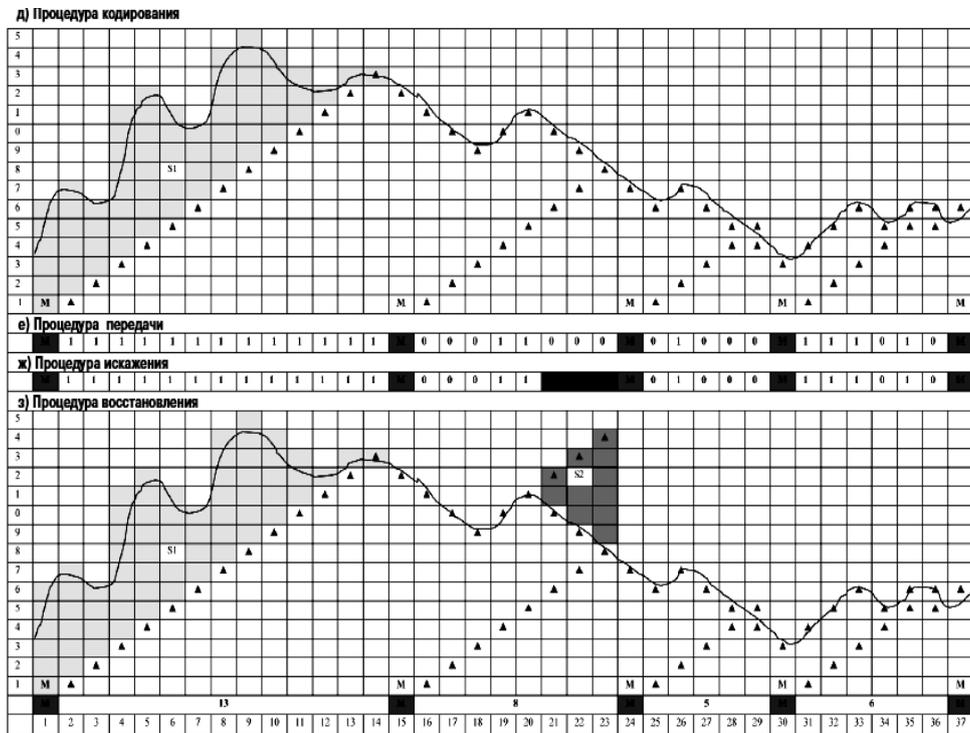


Рис. 4 (д, е, ж, з). Эпюры процедур передачи и приема при полномерно-разностном кодировании

чивают передачу разностных отсчетов. Прием разностных отсчетов обеспечивает высокую чувствительность системы, малую задержку тонкой структуры сигнала, а достоверный прием равномерного отсчета позволяет обнаруживать и корректировать возможные перегрузки по крутизне и накоплению ошибок в канале связи. Совместное кодирование для источника и канала не требует существенной буферной памяти и обеспечивает работу системы на пределе чувствительности элементной базы с минимальными информационными потерями.

Эффективность метода можно оценить, например, с помощью коэффициента W_f , равного отношению числа достоверных (полезных) отсчетов $n_{\text{отсч}}$ к общему числу тактовых интервалов $n_{\text{ти}}$ на интервале представления [9]. Так, для приведенного примера (рис. 1) при использовании известного метода коррекции ошибок коэффициент $W_1 = 0,162$, а предложенного $W_2 = 0,545$, т.е. предлагаемый метод эффективнее известного в 3,34 раза. Такой результат говорит о том, что новый алгоритм может обеспечить более высокую эффективность процесса. Подобная ситуация имеет место при различных бизнес-процессах, которые имеют место не только в системах связи и автоматизации, но в системах менеджмента.

ВЫВОДЫ

Системные подходы в сфере цифровой связи и телеизмерений постепенно были перенесены на организационные системы.

KAIRYO-KAIZEN-системы и PCM-DM-системы имеют общие методологические свойства, основанные на синергетическом эффекте. Инновационные принципы этих систем могут составлять основу будущих международных стандартов в сфере систем менеджмента и бизнес-процессов.

Дельта-модуляция имеет скрытые резервы по эффективности систем связи и является оптимальным методом кодирования для квазистационарных сигналов, т.е. сигналов имеющих быстрые изменения в пределах ограниченного динамического диапазона. Именно поэтому с помощью дельта-модуляции целесообразно кодировать тонкую структуру сигнала.

Особое значение приобретает и малая задержка на восстановление сигнала, которая равна практически одному шагу дискретизации или битовому интервалу. Имеющиеся принципиальные недостатки дельта-модуляции (при максимальном сохранении ее положительных свойств) — погрешность от перегрузки по крутизне и погрешность от накопления ошибок могут быть сведены к минимуму при применении перспективных интегрированных (комбинированных) методов кодирования (PCM-DM-методов). Современная технология в настоящий период позволяет методами структурной и информационной избыточности повысить эффективность и качество систем связи.

Устойчивость (робастность) процесса дискретной передачи-приема непрерывных сигналов к внешним ошибкам в канале связи позволяет рекомендовать данный метод к прикладному применению.

Принципы построения систем связи с быстро стареющей информацией (менеджмент временем) могут быть перенесены на быстро развивающиеся,

ориентированные на бизнес-процессы системы менеджмента качеством (менеджмент процессами). При этом временные показатели с развитием этого класса систем будут играть приоритетную роль (менеджмент временем). Поэтому наработки и опыт, полученный при проектировании систем связи, можно адаптировать к совершенно другим сферам приложений — сферам менеджмента качеством, менеджмента процессами, менеджмента временем, менеджмента стоимостью (потерями). Правильные системные принципы (если это доказано) обладают способностью адаптации к системам любого иерархического уровня и любой предметной области, т.е. такие принципы являются жизнеспособными и универсальными (рис. 5 и рис. 6).

KAIRYO Innovation Иновации Ремонтирование «большие приращения» «хирургия»	KAIZEN КУР Небольшие улучшения «малые приращения» «стерилизация»	KAIRYO-KAIZEN Innovation + КУР Иновации+КАЙЗЕН Ремонтирование+КАЙЗЕН «большие + малые приращения» «комплексное лечение»
Ремонтирование трех процессов из 500 улучшит деятельность организации в целом всего лишь на 6%.	Непрерывное совершенствование, применяемое ко всем 500 процессам, дает в год 15% улучшения.	Когда радикальное и непрерывное совершенствование объединены, результирующее улучшение превышает непрерывное совершенствование на 60% в год.
6%	15%	15%+60%=75%

PCM (ИКМ) Полномерное представление	DM (ДМ) Разностное представление	PCM-DM (ИКМ-ДМ) Полномерно-разностное представление
Передано 4 полномерных отчета	Передано 37 разностных отчета	Передано 4 полномерных и 33 разностных отчета
При заданной структуре помех получено 3 достоверных отчета	При заданной структуре помех получено 8 достоверных отчетов	При заданной структуре помех получено 35 достоверных отчетов
3:37=0,08 (3:4=0,75)	8:37=0,22	35:37=0,95
8%	22%	95%

Рис. 5. Сравнение KAIRYO-KAIZEN- и PCM-DM-СИСТЕМ

Системные принципы	KAIRYO (Innovation) + KAIZEN Большие и малые приращения	PCM + DM Полномерные и разностные отчеты
1. Предметная направленность	Сфера организационных систем, системы менеджмента, люди.	Сфера технических систем, техника связи, техника измерений, бизнес-процессы, системы менеджмента, люди.
2. Методология	Философская концепция.	Техническая и философская концепции
3. Представление	Последовательное чередование «крупных» и «малых» приращений	Параллельное представление в виде полномерных и разностных отчетов.
4. Ориентация	Ориентация на скачкообразное и непрерывное улучшение систем менеджмента.	Ориентирована на минимизацию потерь бизнес-процессов (первоначально в системах связи).
5. Робастность	Не обладают робастными свойствами.	Обладают робастными свойствами.
6. Структура	Не имеют четкую и однозначную структуру системы.	Имеют четкую структуру системы (предложено множество структурных решений).
7. Разладка	Не обладают свойством обнаружения разладки системы.	Обладают свойством обнаружения разладки системы.
8. Форма представления	Последовательное чередование крупных и малых приращений.	Каждое приращение является частью полномерного отчета.
9. Динамические свойства	Низкие.	Высокие.

Рис. 6. Эффективность систем разных видов

ЛИТЕРАТУРА

1. Катермоул К.В. Принципы импульсно-кодовой модуляции. — Перевод с англ. Под ред. В.В.Маркова. — М.: Связь, 1974. — 408 с.

2. Горелов Г.В. Нерегулярная дискретизация сигналов. — М.: Радио и связь, 1982. — 256 с. — (Стат. теория связи. Вып. 17).
3. Венедиктов М.Д., Женевацкий Ю.П., Марков В.В. Дельта-модуляция. Теория и применение. — М.: Связь, 1976. — 272 с.
4. Стил Р. Принципы дельта-модуляции. — Пер. с англ. Под ред. В.В. Маркова. — М.: Связь, 1979. — 368 с.
5. Севастьянов А.К. Комбинированный метод цифровой передачи непрерывных сигналов в информационных системах // Механизация и автоматизация управления. — 1988. — № 1. — С. 58–60.
6. Севастьянов А.К. Принципы полномерно-разностного совместного кодирования для источника и канала // Труды Международной конференции — Спутниковые системы связи и вещания: Перспективы развития в Украине (UkrSatCom-93). — Одесса, 20–24 сентября 1993. — С. 269–272.
7. Севастьянов А.К. Полноотсчетно-разностные методы совместно кодирования источника и канала // Средства получения и обработки цифровой информации: Сборник научных трудов / АН Украины. Ин-т кибернетики имени В.М. Глушкова, Науч. совет АН Украины по пробл. «Кибернетика». — Киев, 1993. — С. 58–64.
8. Севастьянов А.К. Принципы полномерно-разностного совместного кодирования для источника и канала // УСИМ. — 1995. — № 4/5. — С. 56–64.
9. Севастьянов А.К. Инновации: PCM-DM-системы // Бизнес и безопасность. — 2003. — № 3. — С. 38–45.
10. Севастьянов А.К. Дискретная передача и прием непрерывных сигналов на основе полномерно-разностного кодирования // Труды конференции УкрТелеКом-95; 2-я Международная конференция по радиосвязи, звуковому и телевизионному вещанию. (19–22 сентября 1995). — Одесса: УНИИРТ. — С. 414–417.
11. Севастьянов А.К. Полномерно-разностное совместное кодирование для источника и канала // Третья Международная конференция «Проблемы телекоммуникаций». Сборник тезисов. — Киев: Национальный технический университет Украины «КПИ», Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ». — 2009. — С. 82.
12. А.с.487411, СССР. МКИ G11B 5/00. Реутов В.Б., Севастьянов А.К. Устройство для магнитной записи и воспроизведения измерительной информации // Открытия. Изобрет. — 1975. — №37.
13. А.с.801047, СССР. МКИ G11B 5/00. Севастьянов А.К. Устройство для магнитной записи и воспроизведения измерительной информации // Открытия. Изобрет. — 1981. — № 4.
14. Патент №866735 (Российская Федерация). МКИ 3, H03K 13/22. Севастьянов А.К. Устройство для приема и передачи дельта-модулированного сигнала // Открытия. Изобрет. — 1981. — № 35.
15. Патент №993320 (Российская Федерация). МКИ 3, G11B 5/09. Севастьянов А.К. Устройство для цифровой магнитной записи-воспроизведения измерительной информации // Открытия. Изобрет. — 1983. — № 4.
16. Севастьянов А.К. Систематизация принципов для анализа сложных динамических систем // Десятая международная научно-техническая конференция: Системный анализ и информационные технологии. — 20–24 мая 2008. — Киев: ННК «ПСА» НТУУ «КПИ». — С. 136.
17. Масс И. Устройство телеконтроля положения с передачей приращений. — В кн.: Управление и измерение на расстоянии. — М.: Иностран. Литература. — 1959. — 67 с.

18. Байковский В.М. Накопление ошибок в телемеханических системах при передаче информации по методу приращений // Автоматика и телемеханика. — 1964. — 25, № 8. — С. 1203–1209.
19. Меньшиков Г.Г. Двоичная аппроксимация: основы теории, применение к вопросам передачи сообщений. — Л.: ЛЭИС, 1968. — 160 с.
20. Соловьев В.Ф. Рациональное кодирование при передаче сообщений. — М.: Энергия, 1970. — 64 с. — (Б-ка по автоматике. Вып. 411).
21. А.с.290444 (СССР). Способ коррекции ошибок при дельта-модуляции / Р.Т. Сафаров, В.В. Гладченко. — 1971. — № 2.
22. Мановцев А.П. Основы теории радиотелеметрии. — М.: Энергия, 1973. — 592 с.
23. Пилипчук Н.И. Помехоустойчивость адаптивного временного дискретизатора и дельта-модулятора. — М.: РИАН СССР, 1980, 32 с. — (АН СССР. Радиотехнический ин-т; Препринт 804).
24. Трофимов Б.Е., Куликовский О.В. Передача изображений в цифровой форме. — М.: Связь, 1980. — 120 с.
25. Харатишвили Н.Г. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция в системах связи. — М.: Радио и связь, 1982. — 135 с.
26. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки ... Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1984. — 256 с.
27. Пилипчук Н.И., Яковлев В.П. Адаптивная импульсно-кодовая модуляция. — М.: Радио и связь, 1986. — 296 с. (Стат.теория связи. Вып. 25).
28. Беллами Дж. Цифровая телефония. — Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1986. — 544 с.
29. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника. — Пер. с чешск. Под ред. Л.С. Виленчика. — М.: Радио и связь, 1990 — 528 с.
30. Takahushi K., Ishu N. Robustness of data compression coding schemes for still picture over noisy channels // IEEE Inf. Conf. Commun. Intel. Supercomm.: SUPERCOMM / ICC'90. Vol. 3. — New York, 1990. — P. 1035–1042.

Поступила 07.06.2011