

Алгоритмы повышения эффективности функционирования систем обеспечения качества производства сложных объектов

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Разработаны алгоритмы эффективного использования беспроводных сенсорных сетей для сбора и передачи на центральный сервер предприятия достоверных, компактных и криптоустойчивых данных мониторинга.

Ключевые слова: алгоритм, беспроводные сенсорные сети, сервер, криптоустойчивые данные, мониторинг.

Введение. Основой постоянного повышения качества продукции и результативности современного производства является регулярный мониторинг деятельности предприятия в области качества, выявление имеющихся и потенциальных проблем. Это позволит организовать всесторонний анализ степени влияния выявленных проблем на качество продукции, установление причин их возникновения, разработку и реализацию корректирующих и предупреждающих мероприятий, направленных на устранение причин возникновения проблем, оценку результативности принятых мер, а также результативности и эффективности деятельности предприятия. Производство сложных технических объектов (авиационных, космических и др.) характеризуется большим количеством участков изготовления деталей, сборки узлов, механизмов и подсистем, наличием испытательных участков и стендов. При изготовлении сложных изделий необходимо использовать большое количество покупных материалов, изделий поставщиков и смежников, а также организовать собственное производство, сборку и испытание подсистем и механизмов. Поэтому для достижения высокого качества производства, выпуска качественных и надежных изделий на начальных этапах производства следует организовать контроль показателей поставленных материалов и изделий, параметров изготовленных деталей и механизмов, а также реализовать оперативный сбор информации о работоспособности собранных узлов, механизмов и изделий в процессе их испытаний.

Анализ состояния проблемы. В настоящее время в промышленности только на самых нижних уровнях производства осуществляется переработка материалов, энергии, информации, а на все более высоких уровнях производства требуется получение и обработка оперативной информации [1-3]. Именно информация необходима для управления действиями персонала предприятия, производственными и социальными процессами. Высший уровень системы контроля качества на производстве (уровень руководства предприятия) требует интеграции и взаимодействия всех автоматизированных систем, включая сбор и передачу данных на верхние уровни системы текущих характеристик показателей материалов, технологических процессов на рабочих местах и участках цехов и подразделений предприятия, доступ удаленных пользователей к базам данных и экспертным системам. При этом каждая деталь, узел, изделие должны сопровождаться соответствующим набором параметров и результатов испытаний. Соответственно в организации контроля качества производства имеют большое

значение сетевые системы сбора, обработки и передачи мониторинговых данных. Решению проблем организации мониторинга качества производства посвящено большое количество работ [2,4-6]. Большая роль в организации контроля качества производства принадлежит интегрированным компьютерным сетям, объединяющим различные информационные системы (CALS-системы, САПР-К, САПР-Т, АСУТП, АСУ различных уровней предприятия, CAD/CAM/CAE – системы, PDM-системы) и потоки производственной информации (административной, финансовой, технологической и др.) [1,2]. Важной задачей построения сетей мониторинга и управления качеством производства является применение беспроводных абонентских систем сбора, обработки и передачи производственной информации в центральный сервер предприятия [7,8]. Беспроводные сенсорные и локальные сети, объединяющие в единую сеть удаленные абонентские системы (АС), позволяют быстро и без существенных капитальных затрат устанавливать АС на рабочих местах и участках производственных цехов, организовывать оперативное управление сбором и обработкой мониторинговых данных [7]. Поэтому эффективное использование сетевых средств мониторинга и управления качеством производства представляет собой важную проблему мониторинга качества производства.

Постановка задачи. Необходимость дистанционного сбора данных, мониторинга технологических и производственных процессов продиктована целесообразностью систематической обработки информации, которую используют во время принятия решений в процессе управления качеством производства. Ценность текущей производственной информации определяется ее достоверностью и оперативностью, а также возможностью получить доступ к ней и провести необходимый анализ данных. Поэтому актуальной проблемой решения задач мониторинга качества производства сложных объектов является оперативная доставка достоверных (точных) мониторинговых данных на сервер предприятия.

Цель статьи – разработка алгоритмов эффективного использования беспроводных сенсорных сетей для сбора и передачи на центральный сервер предприятия достоверных, компактных и криптоустойчивых данных мониторинга.

Проанализируем основные задачи мониторинга качества производства, требования к системам управления качеством, функционирование интегрированной сети мониторинга качества производства, а также опишем алгоритмы компактного кодирования сигналов (видеосигналов) и защиты данных в местах установки АС мониторинговой сети.

Основные задачи мониторинга качества производства и требования к системам управления качеством. Функционирование системы управления качеством производства сложных объектов определяется требованиями ДСТУ ISO 9001-2000. Эффективность работы системы управления качеством предопределяется заложенным в эту систему механизмом постоянного повышения качества продукции и результативности процессов управления качеством [2], базирующихся на реализации методологии, известной как «планируй – выполняй – проверяй - действуй» (на английском языке «Plan-Do-Check-Act» (P-D-C-A)).

Основой методологии постоянного повышения качества продукции является регулярный мониторинг деятельности в области качества, выявление имеющихся и потенциальных проблем и всесторонний анализ степени их влияния на качество продукции, установление причин их возникновения, разработка и

реализация корректирующих и предупреждающих мероприятий, направленных на устранение причин возникновения, оценка результативности принятых мер, а также результативность и эффективность деятельности предприятия [2,5,6]. Для того, чтобы снизить затраты на производство продукции предприятия и при этом в максимальной степени учесть требования и пожелания потребителей, необходим постоянный мониторинг требований потребителей к продукции и анализ степени их удовлетворенности качеством такой продукции. При этом мониторинг должен проводиться на всех стадиях жизненного цикла продукции, поскольку ее качество определяется не только совершенством конструкции и качеством изготовления, но и возможностью ее рациональной эксплуатации. Цель мониторинга зависит от стадии жизненного цикла продукции: на стадии проектирования – это оптимизация технических параметров разрабатываемой продукции; на стадии производства и эксплуатации – оценка необходимости и направлений модернизации продукции, улучшение процессов ее изготовления; на стадии утилизации – оценка процесса утилизации с точки зрения его рациональности и соответствия нормативным требованиям, в том числе экологическим.

Мониторинг деятельности в области качества осуществляется проведением локальных, оперативных проверок качества продукции и деятельности в области качества и периодических аудитов качества [2]. Локальные, оперативные проверки качества продукции и деятельности в области качества проводятся путем контроля качественных параметров изготавливаемой продукции и достижения запланированных результатов выполнения отдельных процессов. Анализ информации о несоответствиях, выявленных при проведении этих проверок, причинах их возникновения и степени влияния несоответствия на качество продукции позволяет предпринять оперативные управляющие действия для исключения негативных последствий возникших несоответствий [2]. Периодические аудиты качества характеризуются следующими особенностями: предполагают комплексную проверку деятельности по обеспечению качества и результативности функционирования системы управления качеством, а также соответствия действующих систем управления качеством политике предприятия в области качества и нормативным требованиям к этой системе; результаты аудитов качества являются исходной информацией для высшего руководства предприятия при проведении анализа эффективности управления качеством, оценки необходимости повышения качества и определения приоритетных направлений этого повышения.

В процессе мониторинга рекомендуется проводить оценку и анализ единичного, базового, относительного и обобщенного показателей качества продукции. Единичный показатель представляет собой количественную характеристику одного из свойств продукции. Единичные показатели отражаются в проектной документации на продукцию.

Базовый показатель принимается за эталон при сравнительных оценках качества. Базовые показатели качества рекомендуется определять на основе анализа требований потребителей продукции, а также показателей качества аналогичной по назначению и условиям эксплуатации продукции, принятой за базовый образец. Относительный показатель представляет собой отношение показателей качества оцениваемой продукции к базовому показателю качества. Обобщенный показатель характеризует совокупность свойств продукции, по которой принято решение оценивать качество в целом. В эту совокупность включаются существенные свойства. Степень влияния единичных показателей

качества на обобщенный показатель качества продукции учитывается путем присвоения каждому показателю коэффициента весомости K [2]. Эти коэффициенты могут быть определены путем систематизации данных исследований. При определении коэффициентов должно быть соблюдено

условие $\sum_{i=1}^n K_i = 1$, где K_i – конечное значение коэффициента весомости i -го

показателя качества; n – число оцениваемых показателей качества. Расчет относительных единичных показателей качества осуществляется по формулам [2]

$q_i = \frac{p_i}{p_{i\bar{0}}}$, $\bar{q}_i = \frac{p_{i\bar{0}}}{p_i}$, где p_i и $p_{i\bar{0}}$ – значения соответственно единичного i -го

показателя качества оцениваемой продукции и базового показателя качества. Вычисление показателя q_i применяют, если увеличению p_i соответствует

повышение качества, а вычисление показателя \bar{q}_i – когда увеличению p_i соответствует снижение качества (например, увеличивается материалоемкость).

Для комплексной оценки качества продукции рассчитывают обобщенный

средневзвешенный арифметический показатель качества [2]: $Q = \sum_{i=1}^n K_i q_i$, если

для всех относительных единичных показателей качества справедливо $q_i > 0.5$

или обобщенный средневзвешенный геометрический показатель качества

$Q = \prod_{i=1}^n K_i q_i$, если хотя бы для одного относительного единичного показателя

качества справедливо $q_i \leq 0.5$. Обобщенный показатель качества представляет собой количественную характеристику качества оцениваемой продукции по сравнению с ее базовым образцом.

Таким образом, для повышения качества производства сложных наукоемких изделий необходим непрерывный мониторинг процессов проектирования, производства, эксплуатации и утилизации изделий. В таблице 1 представлены основные требования стандартов обеспечения качества к системам мониторинга, а также требования к абонентским системам интегрированной сети мониторинга качества производства.

На стадиях производства и эксплуатации сложных технических объектов важно организовать оперативный сбор и передачу в локальную базу различных показателей, сигналов и изображений, характеризующих технологические процессы изготовления испытания работоспособности деталей, узлов и механизмов сложных изделий. По результатам статистической обработки мониторируемых данных определяют интегральные показатели качества изготовления изделий. В процессе реализации мониторинга качества производства сложных объектов на всех стадиях жизненного цикла продукции необходим регулярный мониторинг деятельности в области качества. Анализ задач мониторинга качества производства показал, что для реализации непрерывного контроля качества изготовления сложных изделий одной из ключевых проблем является доставка достоверных первичных данных на центральный сервер предприятия.

Таблица

№ п/п	Требования стандартов обеспечения качества производства к системам мониторинга	Требования к абонентским системам интегрированной сети мониторинга качества производства
1	Охват мониторингом всех стадий жизненного цикла продукции и аспектов деятельности предприятия	Сбор и обработка показателей, параметров сигналов и изображений на стадиях разработки изделия, его производства, эксплуатации и утилизации
2	Проведение локальных, оперативных проверок качества продукции и деятельности предприятия в области качества, проведения периодических аудитов качества	Организация выборочного контроля параметров и показателей работоспособности изделия и его основных узлов. Обеспечение оперативного доступа к базам данных предприятия
3	Входной контроль материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, контроль испытаний изделий, периодический контроль оборудования	Сбор и передача в центральную базу данных первичной информации о состоянии производства на рабочих местах и участках цехов. Формирование и передача с удаленных рабочих мест и участков компактных, криптоустойчивых и помехоустойчивых массивов данных
4	Анализ данных о качестве: использование статистических методов контроля качества продукции; определение технологической точности и стабильности процессов или отдельных операции изготовления продукции	Оперативная доставка достоверных мониторинговых данных с различных участков и рабочих мест производства, оперативная обработка данных и предоставление результатов обработки удаленным пользователям сети (специалистам, экспертам, аудиторам)

При этом необходимо оперативное развертывание сетевых средств сбора, обработки и передачи мониторинговых данных в условиях действия промышленных помех. Передача данных по сетям также должна характеризоваться высокой криптоустойчивостью и помехоустойчивостью.

Структура интегрированной компьютерной сети мониторинга качества производства. Контроль качества продукции на этапе производства сложных изделий достигается путем поддержки и контроля в заданных пределах технологических, теплофизических, механических, массогабаритных характеристик и параметров производственных процессов отдельных деталей, узлов, механизмов и изделий. Первичные контролируемые сигналы технологических процессов, результаты испытаний узлов и изделий сложных объектов в производственной практике представлены в виде выходных сигналов датчиков, интеллектуальных сенсоров и видеосенсоров. Это сигналы вида:

- «включено/выключено», «да/нет», и др.;
- низкочастотные аналоговые сигналы или низкоскоростные потоки данных (температура, давление и др.);

- высокочастотные сигналы или высокоскоростные потоки данных (звуковые сигналы, вибросигналы, выходные сигналы акселерометров и др.);
- видеосигналы и видеоданные (аналоговые, цифровые, включая данные фиксированных изображений и потоков видеокадров).

Таким образом, на каждом рабочем месте производства сложных объектов необходимо организовать объективный контроль качества изготовления деталей путем [7,8] установки устройств (абонентских или объектных систем) сенсорных сетей, осуществляющих ввод, обработку, кодирование и передачу контролируемых величин и состояний технологического оборудования, параметров технологических процессов, включая данные термодатчиков, тензодатчиков, систем виброиспытаний, испытаний на прочность, выходных данных видеосенсоров. Ценность производственной информации определяется ее достоверностью и оперативностью доставки к средствам анализа и отображения данных обработки операторам, экспертам, аудиторам. Поскольку системы уровня рабочих мест должны отличаться мобильностью, компактностью и дешевизной, то в качестве каналов связи целесообразно использовать помехоустойчивые радиосети. Для построения производственных сетей нижнего уровня широкое распространение получили беспроводные сенсорные и локальные сети [7,8], позволяющие быстро и без существенных капитальных затрат разворачиваться на участках производственных цехов, а также организовать централизованное управление сбором и обработкой мониторинговых данных. Следует отметить, что для эффективного функционирования мониторинговых сетей вся обработка и кодирование первичных данных (фильтрация, сжатие, защита данных, помехоустойчивое кодирование информационных кадров пакетов данных) должны осуществляться в местах образования информационных потоков [9]. Для надежности доставки данных контроля качества изготовления деталей и узлов целесообразно предусмотреть резервные каналы связи (проводные, кабельные, оптоволоконные).

Структура интегрированной сети мониторинга качества производства показана на рисунке1. Нижний уровень сети (уровень рабочих мест) образуют абонентские системы, основу которых составляют процессорные модули с микроконтроллерами или сигнальными процессорами, которые на информационном уровне взаимодействуют с приемо-передатчиками в диапазоне ISM (Industrial, scientific, medical). При использовании ZigBee-модулей [10] основу нижнего уровня образуют полнофункциональные (FFD) или устройства с уменьшенной функциональностью (RFD) сенсорных сетей. Мониторинговые данные с различных рабочих мест и испытательных стендов поступают на абонентские системы локальной компьютерной сети уровня цеха. Основу абонентских систем образуют персональные компьютеры, соединенные проводной (оптоволоконной) линией связи. Для передачи данных могут использоваться также беспроводные сети Wi-Fi [10]. Абонентские сети уровня цеха через сети Ethernet имеют доступ к абонентам уровня предприятия. Одним из абонентов этого уровня является сервер предприятий, в котором накапливаются и обрабатываются данные различных потоков данных (финансовых, технологических и др.).

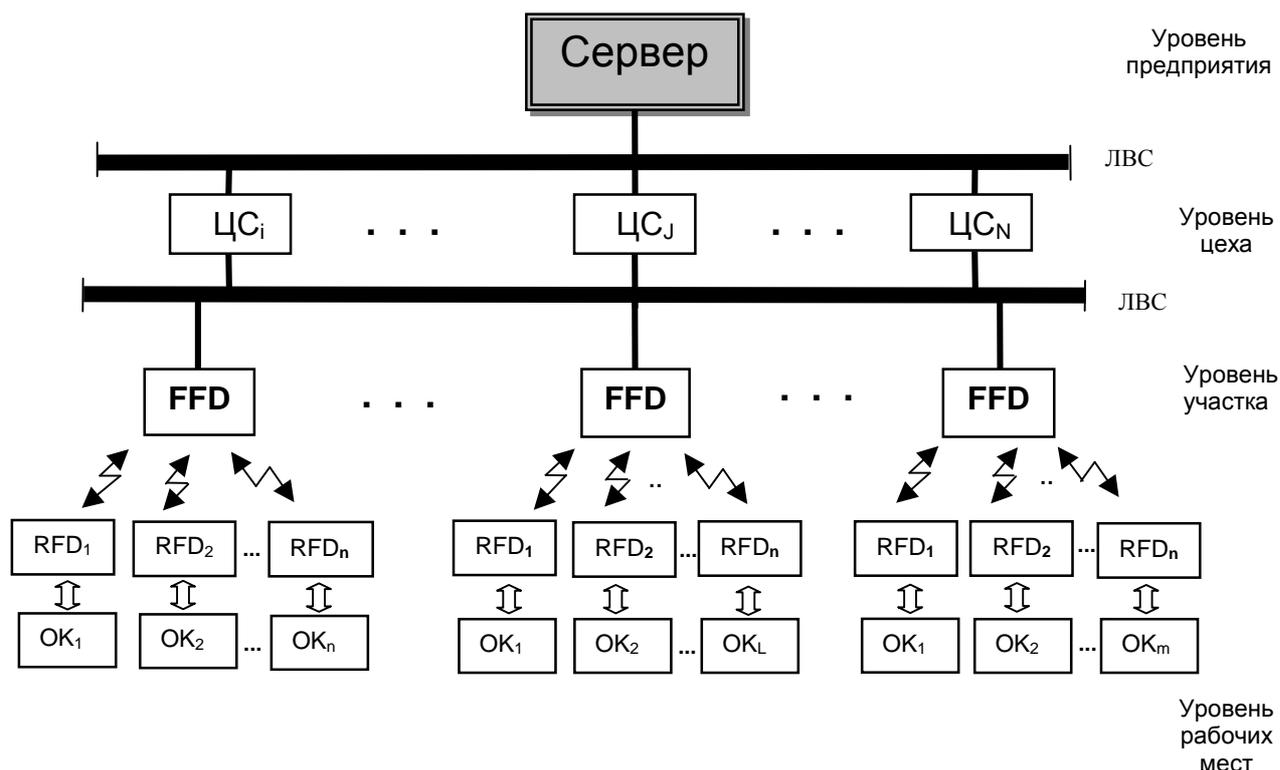


Рис. 1. Структура интегрированной сети мониторинга качества производства: ЦС - центральная станция ; FFD- полнофункциональное устройство сенсорной сети ; RFD- устройство с уменьшенной функциональностью сенсорной сети; ОК - объект контроля

Таким образом, путем оперативного разворачивания абонентских систем сенсорной сети, ретрансляции мониторинговых данных в центральный сервер предприятия с использованием сетей Wi-Fi, Ethernet, Internet достигается сбор, обработка и интерпретация информации с различных уровней и подразделений предприятия. При этом важно на самих нижних уровнях интегрированной сети организовать ввод достоверных данных, экспресс-анализ ключевых показателей и сигналов, компактное криптоустойчивое и помехоустойчивое кодирование массивов данных, подлежащих передаче на верхние уровни интегрированной сети.

Алгоритм оперативной фильтрации и компактного кодирования сигналов и видеосигналов. Сжатие отсчетов сигналов (видеосигналов) позволяет существенно сократить объем данных, подлежащих дальнейшему кодированию и накоплению в местах установки абонентских систем сенсорных сетей в локальной базе и в сервере предприятия. Поскольку входные устройства объектных абонентских систем должны отличаться простотой и дешевизной, то на входе аналого-цифрового преобразователя в каждом измерительном канале применяют фильтры нижних частот (ФНЧ) небольших порядков ($n = 3-5$, где n – порядок ФНЧ). При этом на вход АЦП вместе с полезным сигналом поступают шумовые составляющие при действии мощных промышленных и импульсных помех. Для ввода данных без потерь частота дискретизации j -го сигнала выбирается в соответствии с выражением $f_{\partial}^j = k \cdot f_{\partial k} = 2k f_{\max}^j$, где f_{∂}^j – частота дискретизации сигнала для j -го измерительного канала, $j = 1, \dots, N$, N –

максимальное количество измерительных каналов, $f_{\partial k}$ – частота дискретизации сигнала по Котельникову, k – коэффициент повышения частоты дискретизации ($k > 8 - 10$ [11]).

При вводе данных N -канальным АЦП (N – количество измерительных каналов) частота дискретизации пропорциональна количеству каналов N ввода данных. Для ввода достоверных данных частота дискретизации N -канального АЦП выбирается в соответствии с выражением $f_{\partial}^N = 2Nkf_{\max}^l$, где количество f_{\max}^l – максимальная частота наиболее высокочастотного l -го сигнала $l \leq N$. На практике величина коэффициента k выбирается в пределах $1 \leq k \leq 10$ и зависит от условий (качества) ввода мониторинговых данных, а также большого количества показателей точности ввода данных и параметров ФНЧ, т.е. $k = f([c/u]_{\text{ex}}, q_{\max}^l, p^l, m^l)$, где $[c/u]_{\text{ex}}$ – входное соотношение сигнал/шум; $q_{\max}^l = [\log_2 A_{\max}^l / A_{\min}^l]$ – максимальное количество битов для кодирования l -го сигнала; A_{\max}^l и A_{\min}^l – максимальное и минимальное амплитудное значение l -го сигнала; p^l – тип фильтра нижних частот (Баттерворта, Чебышева, Бесселя, эллиптический), который устанавливается перед АЦП; m^l – порядок ФНЧ.

Для компактного кодирования отсчетов сигналов в каждом измерительном канале осуществляется фильтрация выходных отсчетов АЦП. Основная цель фильтрации – уменьшение амплитудных значений случайных составляющих, которые накладываются на детерминированный сигнал, а также получение сглаженных огибающих сигналов и видеосигналов. Поскольку каждый из методов фильтрации характеризуется соответствующими искажениями огибающих сигналов, то с учетом достижения быстродействия обработки данных за основу целесообразно принять скользящие методы фильтрации с адаптивным окном усреднения $l_{\text{onm}} = f(k, \Delta X_i^F, [c/u]_{\text{ex}})$, где $\Delta X_i^F = X_i^F - X_{i-1}^F$, X_i^F – отфильтрованный поток сигнала. Для косвенного контроля качества ввода данных в процессе фильтрации и сжатия данных необходимо вычислять величины $\Delta X_i^N = |X_i^{XN} - X_i^F|$, где X_i^{XN} – текущий отсчет входного сигнала. Величина ΔX_i^N косвенным образом характеризует текущее входное соотношение $[c/u]_{\text{ex}}$. Анализируя соотношения текущих величин ΔX_i^N и X_i^F в темпе ввода данных, целесообразно косвенно определить чистые и «зашумленные» (более зашумленные, менее зашумленные) участки сигналов. На чистых участках сигналов частота дискретизации и количество битов АЦП выбираются максимальными, а на зашумленных участках – минимальными. Поэтому в основу методов сжатия сигналов (видеосигналов) в целях реализации оперативной обработки данных и получения достоверной информации целесообразно положена такая последовательность операций [8]:

1. На первом этапе обработки данных осуществляется фильтрация отсчетов сигналов скользящим сглаживанием. При обработке видеосигналов при

$\Delta X_i^{XN} > \Delta X_{\text{дон}}^V$ ($\Delta X_{\text{дон}}^V$ – допустимая величина крутизны видеосигналов) первичная фильтрация сигналов не проводится для выявления информативных существенных отсчетов при резких перепадах огибающей сигналов (при сглаживании такие информативные перепады сигналов (видеосигналов) существенно искажаются).

2. На предварительно отфильтрованной выборке сигналов (видеосигналов) определяются амплитудно-часовые характеристики наиболее информативных (существенных) отсчетов, к которым относятся экстремумы и точки перегиба (изменения крутизны огибающей сигналов). Для нахождения экстремумов вычисляются разности между текущими отсчетами в соответствии с выражением $\Delta X_i^F = X_i^F - X_{i-1}^F$, где X_i^F , X_{i-1}^F – текущие соседние отсчеты предварительно отфильтрованного сигнала. Путем анализа знаков величин ΔX_i^F принимается решение о местонахождении экстремумов: в точке, где обнаружено изменение знаков величины ΔX_i^F ($0 \rightarrow +; 0 \rightarrow -; + \rightarrow -; + \rightarrow 0; - \rightarrow 0; - \rightarrow +$) – это экстремум. На основе анализа изменения знаков величины $\Delta(\Delta X_i^F - \Delta X_{i-1}^F)$ на интервале между двумя соседними экстремумами аналогичным образом определяются амплитудно-временные характеристики точек перегиба.

3. Для существенных отсчетов (СО) находят величины $[c/w]_{\text{ex}}^{(CO)i} = \Delta X_i^{N(CO)} = |X_{(CO)i}^{XN} - X_{(CO)i}^F|$, где $X_{(CO)i}^{XN}$, $X_{(CO)i}^F$ – соответственно амплитудные значения текущего «зашумленного» и отфильтрованного существенных отсчетов.

4. В зависимости от величин $[c/w]_{\text{ex}}^{(CO)i}$ и $[c/w]_{\text{ex}}^{(CO)i-1}$ определяется качество ввода отсчетов сигнала на участке между соседними СО. Путем сравнения величин $\Delta X_i^{N(CO)}$ и $\Delta X_{i-1}^{N(CO)}$ с соответствующими пороговыми величинами P_1, P_2, \dots, P_S косвенно определяется текущее состояние «зашумленности» участка сигнала, где s – количество состояний степени зашумленности сигнала. Примером классификации состояний зашумленности сигналов является определение четырех состояний [11]. С учетом анализа зашумленности соседних существенных отсчетов можно определить такие состояния зашумленности текущего участка сигналов:

"11" (существенно зашумленный участок) – $\Delta X_i^{N(CO)} (\Delta X_{i-1}^{N(CO)}) \geq P_1, P_1 = X_{(CO)i}^F / 4,$

"10" (зашумленный участок) – $P_2 \leq \Delta X_i^{N(CO)} (\Delta X_{i-1}^{N(CO)}) < P_1,$

$$P_2 = X_{(CO)i}^F / 8,$$

"01" (менее зашумленный участок) – $P_3 \leq \Delta X_i^{N(CO)} (\Delta X_{i-1}^{N(CO)}) < P_2,$

$$P_3 = X_{(CO)i}^F / 16,$$

"00" (практически чистый участок) - $P_4 \leq \Delta X_i^{N(CO)} \left(\Delta X_{i-1}^{N(CO)} \right)$,

$$P_4 = X_{(CO)i}^F / 32.$$

5. Результаты анализа степени зашумленности отсчетов текущего участка сигнала позволяют найти количество достоверных битов q_∂ для кодирования существенных отсчетов, где $q_\partial = f([c/u]_{ex})$.

В основу выбора количества достоверных битов для кодирования амплитудных значений существенных отсчетов положено правило, согласно которому недостоверные (зашумленные) отсчеты и соответствующие им участки сигналов кодируются меньшим количеством битов, поскольку младшие биты кодов q_∂ будут недостоверными. При этом выбор текущей величины q_∂ задается в служебных кодах при компактном кодировании последовательности отсчетов участков. Для примера существенные отсчеты для участка с кодом $[c/u]_{ex}$ "11" кодируются величиной $q_\partial = 7-8$ битов, участок с кодом "10" – кодируются кодом $q_\partial = 8-9$ битов, участок с кодом "01" – кодируются кодом $q_\partial = 9-10$ битов, участок с кодом "00" – кодируются кодом $q_\partial = 11-12$ битов.

6. На достоверных участках выборки входных данных осуществляется более точное определение амплитудно-временных характеристик существенных отсчетов. Для этого между текущими СО определяется средняя крутизна участка ΔX_{icp}^F . По этой величине определяется окно усреднения выбранного метода фильтрации (скользящего среднего, медианной фильтрации). Примером выбора величины окна усреднения являются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{3}{4} \cdot X_{imax}^F < \Delta X_{icp}^F \leq \Delta X_{imax}^F, l_y = 3, \\ \frac{1}{2} \cdot X_{imax}^F < \Delta X_{icp}^F \leq \frac{3}{4} \cdot X_{imax}^F, l_y = 5, \\ \frac{1}{4} \cdot X_{imax}^F < \Delta X_{icp}^F \leq \frac{1}{2} \cdot X_{imax}^F, l_y = 7, \\ \Delta X_{icp}^F \leq \frac{1}{4} \cdot X_{imax}^F, l_y = 9. \end{aligned}$$

По результатам коррекции окна усреднения l_y повторная фильтрация осуществляется на основе принципов медианной фильтрации. Для повышения быстродействия обработки данных в окне усреднения, ввода операции упорядочения зашумленных отсчетов X_i^{XN} с пороговыми величинами $X_{p1} < X_{p2}, \dots, X_{pl}$, где l - количество дискретов классификации отсчетов $X_i^{XN} - X_{pl} = X_{imax}^{XN}$. По результатам классификации входных данных усреднению подлежат l_1 отсчетов X_i^{XN} , которые по амплитуде попадают в средние поддиапазоны $X_{pi} \rightarrow X_{pcp}$ ($l_y = l_1 + l_2$, где $l_1 > l_2$, l_1 – количество

усредняемых отсчетов в окне усреднения, l_2 – количество отбрасываемых отсчетов). Отсчеты, которые попадают в поддиапазонные $X_{pi} \rightarrow X_{pmin}$ и $X_{pi} \rightarrow X_{pmax}$, классифицируются как наиболее зашумленные и учитываются при фильтрации данных.

По результатам повторной фильтрации уточняются амплитудно-временные характеристики СО.

7. Для повышения быстродействия компактного кодирования данных результатом скользящего сглаживания с окном усреднения $l_y = 4-5$ отсчетов, существенные отсчеты в виде точек перегиба определяются только на достоверных участках сигналов, крутизна которых не превышает заданного порога. Следует отметить, что для качественного возобновления высокочастотных сигналов достаточно иметь амплитудно-временные параметры экстремальных отсчетов [12,13].

Анализируемая выборка сигналов состоит из нескольких участков, поэтому при компактном кодировании существенных и несущественных отсчетов анализируемой выборки сигналов начало выборки и ее окончание фиксируются существенными отсчетами. Последние кодируются кодами [8] $T_i\{X_i\}$ или $T_i\{\Delta X_i\}$, где $T_i = 1$ – бит признака существенности отсчета сигнала, $\{X_i\}$ – полноразрядный двоичный код существенного отсчета, $\{X_i\}$ – разностный отсчет существенного отсчета. Фактически кодирование разностных существенных отсчетов (PCO) осуществляется в зависимости от выбранных и закодированных в служебной информации методов сжатия, параметров адаптации и видов участков. Например, при выявлении длительных нарастающих или спадающих участков PCO кодируются кодом $(T_i = 1)(K_i = 0)\{\Delta X_i\}$, а при выявлении длительных недостоверных участков PCO кодируются кодом $(T_i = 1)(K_i = 0)(Z_i)\{\Delta X_i\}$, где $K_i = 0$ – признак PCO ($K_i = 1$ – признак полноразрядного существенного отсчета (PCO)), Z_i – знак разностного кода $\{\Delta X_i\}$.

Следует отметить, что по результатам анализа СО и соответствующих им величин $[c/w]_{ex}$ определяются типы участков: достоверная/недостоверная; достоверная нарастающая/достоверная спадающая/недостоверная.

Для простоты кодирования количество состояний зашумленности участков выборки сигнала сокращено до двух: при $\Delta X_i^{N(CO)} \leq \Delta X_{idon}^{N(CO)}$ – отсчет достоверный; при $\Delta X_i^{N(CO)} > \Delta X_{idon}^{N(CO)}$ – отсчет недостоверный, где, например, $\Delta X_{idon}^{N(CO)} < X_{(CO)i}^F / 16$.

В целях оперативного формирования булевой переменной существенности отсчетов недостоверных участках сигнала с учетом анализа длительных низкочастотных участков и высокочастотных фрагментов сигнала целесообразно:

- 1) на длительных низкочастотных участках сигнала каждый раз через заданное количество несущественных отсчетов $m > k$ принудительно формировать существенный отсчет;

- 2) последний отсчет выборки ($i = i_{max}$) также целесообразно формировать как СО;
- 3) при наличии высокочастотных фрагментов сигналов ($\Delta X_i^F > \Delta X_{\partial on}^F$) СО становятся только экстремальные отсчеты;
- 4) на низкочастотных (нединамических) участках сигналов для уменьшения количества несущественных отсчетов необходимо организовать прореживание частоты опроса отсчетов с коэффициентом прореживания $K_{np} = 1, 2, 3, 4, \dots$ или $K_{np} = 1, 2, 4, 8, \dots$. Выбранное значение K_{np} указывается в служебной информации в поле кодов адаптации.

Выражение для формирования булевой переменной существенности отсчетов на достоверных участках сигнала имеет вид

$$Ti = \begin{cases} 1, & |\Delta X_{i+1}^F - \Delta X_i^F| > \gamma, \\ 1, & i = m; \quad i = i_{max}, \\ 0, & \Delta X_i^F > \Delta X_{\partial on}^F, \\ 0, & |\Delta X_{i+1}^F - \Delta X_i^F| \leq \gamma, \end{cases}$$

где $\gamma = f([c/u]_{ex})$ – величина апертуры при обнаружении СО, $\Delta X_{\partial on}^F = \Delta X_{max}^F / 2$.

8. Для фильтрации и компактного кодирования видеосигналов ввиду необходимости повышенной скорости обработки данных целесообразно реализовать упрощенные методы определения существенных отсчетов. Для этого на исходных данных на первом этапе определяются экстремумы, а также разница между экстремальными значениями согласно выражению $\Delta X_i^E = X_i^E - X_{i-1}^E$.

По величине ΔX_i^E в сравнении с допустимой величиной $\Delta X_{\partial on}^E$ и при заданном количестве отсчетов между экстремумами принимается решение о необходимости реализации фильтрации участка сигнала между текущими соседними экстремумами или об отсутствии реализации фильтрации данного участка. Данные условия выполняются в соответствии с выражениями

$$\begin{cases} \Delta X_i^F < \Delta X_{\partial on}^E, & n_i < n_{\partial on} - \text{реализация фильтрации,} \\ \Delta X_i^F \geq \Delta X_{\partial on}^E, & n_i \geq n_{\partial on} - \text{отсутствие фильтрации.} \end{cases}$$

Целесообразность предварительного анализа данных видеосигнала объясняется тем, что на огибающей видеосигнала возможны резкие переходы типа «белое-черное» (например, на темном фоне возможны светлые точки, которые при фильтрации огибающей исчезают, т.е. фильтрация приводит к потере информативных данных). По сравнению с фильтрацией измерительных сигналов, для которых частота дискретизации выбирается избыточно, и соответственно, величина окна усреднения может меняться в больших пределах

при фильтрации видеосигналов, окно усреднения, как правило, выбирается небольшим ($l_y = 5$ отсчетов) и усреднению подлежат соседние отсчеты (пиксели), которые расположены слева, справа, сверху и снизу текущего анализируемого отсчета видеосигнала.

Структура алгоритма адаптивной фильтрации и сжатия сигналов показана на рис. 2. Фильтрация и сжатие входных отсчетов сигналов осуществляется в потоковом режиме. Для этого осуществляется инициализация переменных (блок 1) и загрузка входных данных в буфер, который сохраняет текущую выборку данных, которая подлежит обработке (блок 2). Далее на выборке данных, которая зависит от величины буфера простым и быстродействующим способом (скользящим сглаживанием с окном 4-5 отсчетов), определяются предварительно отфильтрованные отсчеты X_i^F , существенные отсчеты, а также соответствующие им величины $[c/w]_{ex}^{CO}$.

Далее осуществляется поиск участков с однотипными величинами $[c/w]_{ex}$ в пределах массива данных буфера (блоки 3-5). При этом первый отсчет буфера определяется и кодируется как существенный отсчет, а последующий СО – кодируется как разностный СО (PCO). Для существенных отсчетов, которые определены на чистых от шумов участках, уточняются их амплитудно-временные характеристики. Блок 5 определяет окончание отрезка сигнала с однотипной величиной $[c/w]_{ex}$. В случае обнаружения СО, относящихся к другим дискретным значениям величины $[c/w]_{ex}$, выполняется компактное кодирование существенных (полноразрядного и разностных) и несущественных отсчетов, а также служебных данных адаптации (блок 7). Далее осуществляется сдвиг данных в буфере на количество отсчетов обработанного участка данных (блок 8), т.е. отсчеты обработанного отрезка данных удаляются с буфера, а на свободное место вводятся отсчеты необработанных участков. Проводится проверка завершения входных потоков данных (блок 9). Если поток данных не прекращается, то реализуется новый цикл поиска и кодирования данных. Если поток входных данных завершился, а в буфере сохраняются незакодированные данные (блок 10), выполняется процедура поиска пределов участков огибающей и кодирования отсчетов сигнала.

При отсутствии данных для обработки и кодирования алгоритм адаптивной фильтрации и сжатия сигналов завершает свою работу.

Таким образом, в темпе ввода данных заданными порциями, соответствующих объему буфера, входные данные предварительно фильтруются и анализируются по степени уровня зашумленности участков сигналов. Достоверные (точные) данные кодируются более точно, а зашумленные отсчеты кодируются менее точно и более компактно. Это позволяет загрузить каналы связи достоверными и компактными данными, которые ретранслируются в центральный сервер предприятия. С помощью служебных данных при возобновлении огибающих измерительных сигналов специалистам, экспертам, аудиторам предоставляются данные, подтверждающие достоверность введенных данных. Основными преимуществами разработанных адаптивных методов компактного кодирования мониторинговых данных являются: оперативность сжатия данных при выполнении минимального количества вычислительных операций, достоверное кодирование наиболее информативных отсчетов

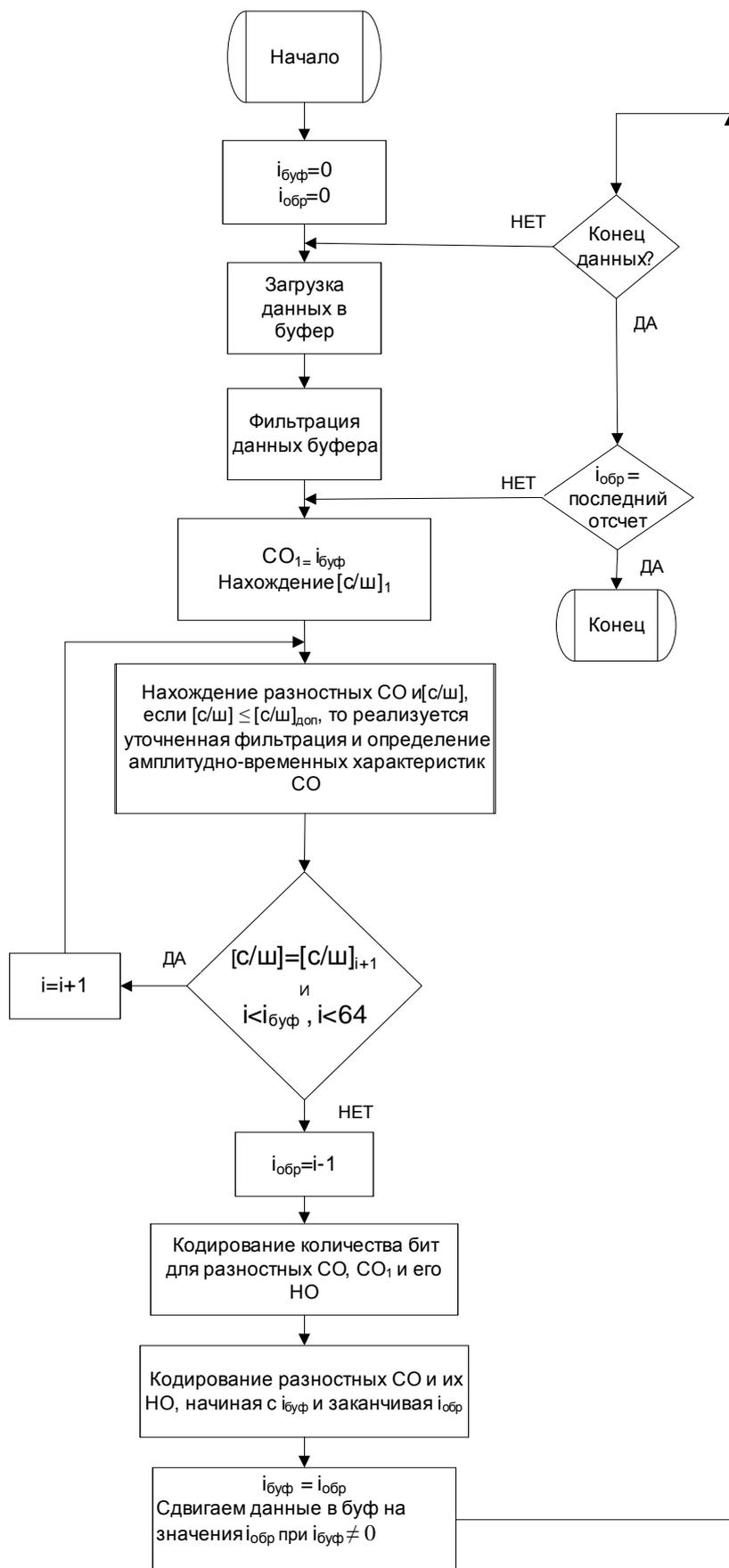


Рис. 2. Структура алгоритма адаптации фильтрация и сжатия данных

аналоговых сигналов в процессе ввода информации. При этом наиболее информативные отрезки аналоговых сигналов кодируются наиболее точно, с повышенной частотой дискретизации и максимальным количеством битов, а неинформативные участки сигналов, искаженные шумами, кодируются менее точно и более сжато.

При возобновлении сжатых данных амплитудно-временные характеристики наиболее информативных отсчетов сигналов (экстремумов и точек перегиба огибающей) возобновляются с предварительно заданной точностью кодирования. Для оперативного компактного кодирования сигналов за основу принят метод, определяющий на огибающей сигналов наиболее информативные отсчеты (существенные отсчеты), к которым относятся экстремумы и точки перегиба. Для надежного выявления существенных отсчетов входные сигналы подлежат сглаживанию, т.е. фильтруются при условии реализации оперативной фильтрации данных с минимальными искажениями. Сжатие отфильтрованных отсчетов данных базируется на способах выявления существенных отсчетов (СО) и несущественных отсчетов (НО), при этом СВ кодируются кодом $T_i\{X_i\}$, где $T_i=1$ – бит признака существенности отсчета, $\{X_i\}$ – двоичный код СВ. Несущественные отсчеты кодируются одним битом $T_i=0$. Для минимизации служебной информации последовательность НО кодируется кодом $P_i = \lceil \log_2 N_{НО} \rceil$, где $\lceil \cdot \rceil$ – признак целого числа, взятого к большему.

При кодировании коды НО следуют за кодами СО. Для косвенного определения качества ввода данных для существенных отсчетов определяется величина $\Delta X_i^u = |X_i^u - X_i^\phi|$, где ΔX_i^u – разностный сигнал; X_i^u – входной отсчет (сигнал + шум); X_i^ϕ – отфильтрованный отсчет.

Путем сравнения величины ΔX_i^u с различными пороговыми величинами P_1, P_2, \dots, P_S определяется текущее состояние «зашумленности» участка сигнала, где S – количество состояний степени зашумленности сигнала. Такой подход позволяет оперативно контролировать и фиксировать ввод достоверной/недостоверной информации, а также организовать формирование кодов адаптации при компактном кодировании отсчетов текущих участков сигналов. На зашумленных участках частота дискретизации и количество битов СО выбирается минимальной, т.е. $f_\delta = f_{min} = 2f_{max}$, $q_{CO} = q_{min}$. Сжатый поток данных формируется в такой последовательности информативных и служебных битов: $\{\{СИ\}\{CO_1\}\{HO_1\}\{PCO_i\}\{HO_i\}\dots\{PCO_n\}\{HO_n\}\}$, где $\{СИ\}$ – служебная информация, которая включает в себя коды адаптации при компактном кодировании текущих участков; CO_1 – код первого существенного отсчета участка; HO_1 – код количества несущественных отсчетов, которые следуют после CO_1 ; $\{PCO_i\}$ – код i -го разностного существенного отсчета; $i = \overline{1, n}$ – количества PCO текущего участка сигнала.

Защита данных абонентами сенсорных сетей. Каждая абонентская система сенсорной сети с секретным ключом, информация о котором сохраняется центральной станцией сети. При необходимости передачи пакетов информации

i -му RFD (FFD) – устройством j -му FFD-устройству и непосредственно центральной станции участники передачи пакетов информации реализуют следующие действия:

1) i -й абонент уведомляет центральную станцию о необходимости передачи пакетов данных j -му абоненту или центральной станции;

2) центральная станция секретным ключом i -го абонента, а также секретным ключом j -го абонента передает короткое сообщение о сеансовом ключе для передачи заданного количества пакетов информации. Возможна передача нескольких сеансовых ключей для передачи соответствующих пакетов;

3) i -й абонент шифрует сообщение сеансовым ключом, а j -й абонент или центральная станция дешифруют сообщения с использованием сеансового ключа.

На основе сеансового ключа для выполнения операций шифрования/дешифрования информационных кадров пакетов информации абонентам (отправитель и получатель информации) формируют псевдослучайные последовательности. Отправитель информации осуществляет гаммирование двух последовательностей: последовательности битов $A = a_1, \dots, a_m$ компактного массива данных и псевдослучайной последовательности битов $K = k_1, \dots, k_m$, где m – длина информационного кадра.

В результате гаммирования (побитовой операции суммирования по модулю 2) в канал связи отправляется криптограмма $C = c_1, \dots, c_m$, для которой справедливо выражение $C = A \oplus K$, где $c_1 = a_1 \oplus k_1, \dots, c_m = a_m \oplus k_m$, а $A \oplus O = A$, $A \oplus A = O$.

Существенным требованием при реализации шифрования данных с одноразовым ключом является выполнение, заключающегося в том условия, чтобы на каждом цикле шифрования (гаммирования битов информационного кадра и битов псевдослучайной последовательности) использовался совершенно другой код псевдопоследовательности. Соответственно для p -й операции шифрования генерируется текущая псевдослучайная последовательность $K \dot{p} = k_{1+p}, \dots, k_{m+p}$. Дешифрование криптограммы C при наличии ключа K базируется не выполнении операции $C \oplus K = (A \oplus K) \oplus K = A \oplus (K \oplus K) = A \oplus O = A$.

Таким образом, в канале связи информационные кадры пакетов информации передаются в виде псевдослучайных последовательной. Для уменьшения вероятности появления длительных однотипных битовых посылок типа ...111...11..., ...000...00... в процессе гаммирования v -й элемент псевдослучайной последовательности инвертируется (например, $v \leq 3-5$). Для гарантированного исключения появления длительных однотипных битовых посылок целесообразно осуществить соответствующую процедуру битстаффинга.

Следует отметить, что хороший алгоритм криптозащиты информации образуют шифрованные данные с практически равномерным распределением q -битовых символов, где q – количество битов символа [9]. Величина степени защиты информации P_z пропорциональна величине массива данных, подлежащих гаммированию и ориентировочно определяется выражением

$P_z \equiv \max[2^{L_{ИК}}]$, где $L_{ИК}$ – количество битов информационного кадра. Путем выбора больших величин $L_{ИК}$ – (единицы – тысяча битов) достигается надежная защита данных.

Выводы

Основой методологии постоянного повышения качества продукции является регулярный мониторинг деятельности в области качества, который осуществляется проведением локальных, оперативных проверок качества продукции и периодических аудитов качества. При этом важен контроль качественных параметров изготавливаемой продукции. Для повышения качества производства сложных наукоемких изделий необходим непрерывный мониторинг процессов проектирования, производства, эксплуатации и утилизации изделий. Для реализации непрерывного контроля качества изготовления сложных изделий одной из ключевых проблем является доставка достоверных первичных данных на центральное развертывание сетевых средств сбора, обработки и передачи мониторинговых данных (показателей, сигналов, изображений) в условиях действия промышленных помех. Передача данных по сетям должна характеризоваться высокой криптоустойчивостью и помехоустойчивостью. Путем оперативного разворачивания абонентских систем сенсорной сети, ретрансляции мониторинговых данных в центральный сервер предприятия с использованием сетей Wi-Fi, Ethernet, Internet достигаются сбор, обработка и интерпретация информации с различных уровней и подразделений предприятия. Предложены методы и алгоритмы компактного и криптоустойчивого кодирования мониторинговых данных, позволяющие на нижних уровнях сенсорных сетей (на объектных системах) реализовать ввод и кодирование достоверных данных. Посредством этого существенно снижается количество пакетов информации, подлежащих ретрансляции, а канал связи интегрированной сети загружен достоверными и информативными данными.

Список литературы

1. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса/ Б.М. Абрамов, В.Н. Агарков, В.Е. Александров и др.; под ред. А.Г. Братухина.- К.:Техніка, 2001. – 728 с.
2. Кривов Г.А. Система управления качеством производства авиационной техники/ Г.А. Кривов, В.А. Матвиенко, В.А. Резников - К.:Техніка, 2004. - 272 с.
3. Лисецкий Ю.М. Пример построения корпоративной интегрированной информационной системы/ Ю.М. Лисецкий, А.Н. Бобров //УСиМ.-2007.- № 6. - С.9 - 16.
4. А.Г. Братухин А.Г. Обеспечение качества и сертификации производства авиационной техники средствами мониторинга/ А.Г. Братухин, В.Ф. Сигаев, О.С. Сироткин.- М.: Машиностроение, 1997. - 192 с.
5. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции / А.В. Гличев – М.: Стандарты и качество, 2001. - 423 с.
6. Федюкин В.К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции/ В.К. Федюкин, В.Д. Дурнев, В.Г. Лебедев.- М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2001. – 328 с.

7. Резаи В. Создание беспроводных сетей мониторинга промышленного производства/ В. Резаи // Комп'ютерні засоби, мережі та системи.-2009. - № 8.- С. 90 - 96.
8. В. Резаи В. Оптимизация ввода и обработки данных в процессе контроля качества производства сложных систем/ В. Резаи, Б.М. Шевчук, В.П. Зинченко // Праці міжнар. симпоз. "Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV)".- К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2009.- Т.2. – С. 244 - 248.
9. Шевчук Б.М. Ефективні методи фільтрації – стиску та захисту інформації в комп'ютерних мережах тривалого моніторингу станів об'єктів/ Б.М. Шевчук, В.К. Задірака, С.В. Фраєр // Штучний інтелект. – 2006. - № 3. – С. 804 - 815.
10. Шахнович Н.В. Современные технологии беспроводной связи/ Н.В. Шахнович. - 2-е изд.: -М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
11. Шевчук Б.М. Оперативна багатофункціональна обробка та передача інформацій в моніторингових мережах з використанням мікросупутників/ Б.М. Шевчук, В.П. Зінченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ».- 2007.- № 2. - С. 35-45.
12. Дедус Ф.Ф. Восстановление аналогового сигнала по экстремумам/ Ф.Ф. Дедус, Н.Д. Пономарева, Г.В. Цепков // Изв. вузов: Приборостроение.- 1989.- 32. – № 11.- С. 7-10.
13. Ponomareva I.D., Spectral analysis of signals on the basis of extrema/ I.D. Ponomareva, G.V. Tsepkov // Pattern Recognition and Image Analysis.- 1998.- 8.- No 4.- P. 560-567.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Д. Герасимчук

Поступила в редакцию 18.12.09

Алгоритми підвищення ефективності функціонування систем забезпечення якості виробництва складних об'єктів

Розроблено алгоритми ефективного застосування безпроводних сенсорних мереж для збирання та передачі на центральний сервер підприємства достовірних, компактних та криптостійких даних моніторингу.

Ключові слова: алгоритм, безпроводні сенсорні мережі, сервер, криптостійкі дані, моніторинг.

Algorithms of higher efficiency of operation of complex objects production quality assurance systems

The development of algorithms of efficient application of wireless sensory networks for collection and transmission of authentic, compact and crypto-resistant data of the monitoring to the central server of the enterprise.

Keywords: algorithm, wireless sensory networks, crypto-resistant data, monitoring.