

одинаковый набор состояний основного технологического оборудования производственной системы. В этом случае модели могут использоваться как сменные модули.

Аналогом механизма логического вывода экспертной системы в нашем программном обеспечении будет выступать единый и неизменный алгоритм итерационного запуска моделей и обмена уточняющей информацией.

После очередного запуска все модели обмениваются между собой вновь полученными фактами. Эти новые факты уточняют исходные данные моделей. Модели запускаются вновь. Так продолжается до тех пор, пока не будет получено значение целевого факта. В качестве такового используется сходимость результатов у всех моделей по одной из ключевых характеристик системы, отражающей ее целевое назначение. Эта характеристика должна интегрально учитывать все аспекты производственной системы и влиять на все ее результаты функционирования. Нами показано, что ключевой характеристикой может служить средний коэффициент использования основного технологического оборудования по времени работы. Сходимость значений ключевой характеристики с заданной точностью у всех моделей будет означать, что взаимное уточнение моделей завершено.

При таком подходе программное обеспечение будет единообразно и автоматически функционировать вне зависимости от вида и состава использующихся моделей. Мы избавляемся от пользовательского программирования при настройке на объект и требуемые модели.

Программная реализация. Описанный подход был реализован в программной среде «ESMod» (<http://www.bntu.by/fitr-rs.html> опция «Проект ESMoD/Демо»). Тестирование показало принципиальную работоспособность идеи и ожидаемую эффективность реализации.

УДК 681.5.09

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТРАНЗАКЦИЙ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Гулай А.В., Зайцев В.М.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Информационная совместимость составных частей мехатронной системы достигается за счет применения унифицированных телеметрических и телематических транзакций. Для нормального функционирования мехатронного оборудования системы необходимо обеспечивать определенную достоверность передачи транзакций. Достоверность оценивается вероятностью $P_{\text{дост}}$ того, что в транзакции не содержатся искаженные биты, обусловленные процессами передачи информации по каналу.

Фактический объем транзакций $n_{\text{факт}}$ теснейшим образом связан с обеспечением требуемой достоверности их передачи. Он существенно влияет на временные соотношения всех процессов информационного обмена в мехатронной системе, поскольку основная составляющая времени передачи транзакции T определяется отношением $T = n_{\text{факт}}/V$, где V – номинальная скорость передачи бит по каналу.

Для достижения требуемой достоверности передачи транзакций по каналам применяется помехоустойчивое кодирование. Очевидно, что в общем случае необходим рациональный выбор триплетов (n, k, d) помехоустойчивого кода G , минимизирующих параметр $n_{\text{факт}}$. При условии обеспечения требуемой достоверности $P_{\text{дост}}$.

Предложена технология рационального выбора триплетов, которая основывается на введении вспомогательных функций:

- базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$ вероятностей образования ошибок кратности не ниже s в каждом кодовом блоке объемом n_i бит при его передаче по каналу со скоростью возникновения битовых ошибок $P_{\text{ош}}$;

- функции $L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i)$ предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок k в каждом кодовом блоке при условии достижения требуемой достоверности передачи транзакции $P_{\text{дост}}$ за счет выявления и исправления кодом G битовых ошибок кратности t_i .

Применение введенных функций позволяет для блочного помехоустойчивого кода G произвести обоснованный отбор допустимых решений путем проверки выполнения основного критериального условия $W(P_{\text{ош}}, n_i, s) \leq L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i)$.

Условие отражает статистическую возможность компенсации негативных явлений, которые обусловлены появлением в кодовых блоках кратных битовых ошибок, за счет применения определенных триплетов (n, k, d) помехоустойчивого кода. Оно обеспечивает рациональное выделение групп триплетов, допустимых для создания кодовых блоков передачи транзакций с необходимой достоверностью на каналах заданного качества.

В системах блочного кодирования для каналов с независимыми ошибками лучшим конструктивизмом в смысле соотношений $k, r(d)$ триплетов обладают БЧХ коды. Для БЧХ кодов с $d = 7$ (кратность битовых ошибок $t \leq 3$) значение параметра $s \geq 4$, а базовая функция вероятностей образования ошибок кратности не ниже 4 в каждом кодовом блоке объемом n_i бит принимает следующую форму:

$$\begin{aligned}
 W(P_{\text{ош}}, n_i, s = 4) = & 1 - (1 - P_{\text{ош}})^{n_i} - n_i P_{\text{ош}} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 1} - \\
 & - n_i \frac{n_i - 1}{2} P_{\text{ош}}^2 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 2} - \\
 & - n_i \frac{(n_i - 1)(n_i - 2)}{6} P_{\text{ош}}^3 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 3}.
 \end{aligned}$$

Рациональный поиск триплетов помехоустойчивого кода заключается в следующем. Построены графики базовых функций $W(P_{\text{ош}}, n_i, s = 4)$ для практически значимых дискретных значений скоростей ошибок и дискретных параметров n_i и вычислены значения функции предельно допустимых вероятностей на-

личия остаточных ошибок в каждом кодовом блоке $L(P_{\text{дост}} = 0,999, n_{\text{инф}} = 1056, n_i, r_i, t_i \leq 3)$. Результатом проверки выполнения основного критериального условия для $s \geq 4$ (вариант выявления и исправления ошибок кратности не ниже 3) являются следующие возможные решения (таблица 1):

- при необходимости организации работы мехатронной системы на каналах с $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-2}$ ни один из представленных триплетов БЧХ кода с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) не обеспечивает передачу транзакций с требуемой достоверностью и необходимо либо применение каналов более высокого качества, либо иного кода G;

- при необходимости организации работы мехатронной системы на каналах с $P_{\text{ош}} = 10^{-2}$ могут быть применены БЧХ коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде двух триплетов: (23, 12, 7) и (31, 16, 7). Они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом код Голея, как частный случай БЧХ кода, которому соответствует триплет (23, 12, 7), более предпочтителен. Он дает наименьший фактический объем транзакции на уровне 2048 бит;

- для организации работы мехатронной системы на каналах при $5 \cdot 10^{-3} \leq P_{\text{ош}} \leq 10^{-2}$ могут быть применены БЧХ коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде трех триплетов: (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7). Все они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом триплет (63, 45, 7) более предпочтителен. Он дает наименьший фактический объем транзакций на уровне 1512 бит;

- для организации работы мехатронной системы на каналах при $P_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$ могут быть применены БЧХ коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде четырех триплетов: (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7), (127, 106, 7). Все они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом код (127, 106, 7) более предпочтителен. Он дает наименьший фактический объем транзакций на уровне 1275 бит.

Таблица 1

Скорости битовых ошибок $P_{\text{ош}}$ в канале	Триплеты БЧХ-кода				
	23, 12, 7	31, 16, 7	63, 45, 7	127, 106, 7	255, 231, 7
$1 \cdot 10^{-6}$	+	+	+	+	+
$5 \cdot 10^{-6}$	+	Область обеспечения предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в кодовых блоках			+
$1 \cdot 10^{-4}$	+				+
$5 \cdot 10^{-4}$	+				+
$1 \cdot 10^{-3}$	+				-
$5 \cdot 10^{-3}$	+	+	+	-	-
$1 \cdot 10^{-2}$	+	+	-	-	-
$5 \cdot 10^{-2}$	-	-	-	-	-
Вероятность наличия остаточных ошибок в кодовом блоке при $t_i \leq 3$	0,026 при $P_{\text{ош}} > 5 \cdot 10^{-2}$	0,067 при $P_{\text{ош}} > 5 \cdot 10^{-2}$	0,025 при $P_{\text{ош}} \geq 1 \cdot 10^{-2}$	0,004 при $P_{\text{ош}} \geq 5 \cdot 10^{-3}$	0,00014 при $P_{\text{ош}} \geq 1 \cdot 10^{-3}$

Представленные результаты являются срединными; граница выделенной допустимой области задается последней строкой таблицы 1. Дополнительные расчеты показали, что уменьшение или увеличение вероятности $P_{\text{дост}}$ сопровождается соответствующим активным расширением или сужением допустимой области. В то же время эффект от применения триплетов со значениями $t_i \leq 4$ ($d_i = 9$) невысок – наблюдается лишь незначительное расширение допустимой области.

УДК 004.932.2

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ПРИ ЕЁ ДВИЖЕНИИ ПО КОНВЕЙЕРУ

Лозовский В.Э., Мацукевич В.Ю., Лившиц Ю.Е.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день важнейшей из проблем при производстве керамической плитки является проведение разгрузочно-упаковочных работ. В силу принципа упаковки готовых изделий и устройства печи обжига выходной поток плиток с роликового печного конвейера переходит под прямым углом на ленточный разгрузочный конвейер с последовательным расположением плиток.

В процессе продвижения плиток в печи, покрытых слоем глазури, возникает их слипание между собой. Изменение загруженности печи и динамика температуры в ней приводит к поверхностной деформации конвейерных роликов. Так же в процессе обжига плитки происходит её усадка в размерах, что приводит к повороту плитки в потоке. На выходе из печи располагается разгрузочный конвейер, в ходе движения к которому возможны сильный поворот и налегание плиток друг на друга. Эти условия создают аварийные состояния, приводящие к заклиниванию оборудования.

Для решения задачи детектирования аварийных ситуаций была разработана система технического зрения, отслеживающая состояние передвижения плитки. Работа системы была описана в [1]. Основной работы системы контроля потока движения керамической плитки является программное обеспечение, осуществляющее обработку изображений, описанное в данной работе. В процессе работы системы анализируется состояние конвейера в момент подхода плитки к стопорному ножу (смотри рисунок 1).

Алгоритм анализа изображения основан на ряде математических операций:

- выделение на изображении области интереса;
- компенсация неравномерности освещённости;
- выделение краёв плитки, основанное на дискретном косинусном преобразовании;
- пороговая бинаризация и связывание пикселей в объекты;
- анализ геометрических параметров связанных областей;
- выдача результата обработки.