



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

11-84-861

В.Л.Пахомов, Н.В.Черненко

ПРИМЕНЕНИЕ  
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИИ  
НА ПЕРФОНОСИТЕЛЯХ

1984

Эксплуатация систем автоматизации проектирования и производства (САПР) печатных плат требует интенсивного обмена информацией между отдельными устройствами, задействованными в технологическом процессе. Особенно велик при этом объем использования перфолент (ПЛ). Как показывает опыт, чаще всего при выводе информации на ПЛ случаются либо одиночные ошибки, либо пачки ошибок по какой-нибудь одной из восьми используемых дорожек. Перфораторы, уже по своим техническим данным, не гарантируют получения правильной информации при требуемом на практике объеме (до 100 К байт).

Кроме того, при вводе ПЛ также возможны ошибки устройств ввода. Для контроля правильности операций ввода/вывода ПЛ обычно используется восьмая дорожка для проверки на четность (нечетность) числа пробивок в каждой строке. Такой прием позволяет обнаруживать ошибки кратности 1, 3, 5, 7. Так как ошибки кратности 2, 4, 6 и 8 четности кода не меняют, то такие ошибки не обнаруживаются. Главный недостаток этого метода состоит в том, что если одиночные ошибки и обнаружены, то все равно исправить их обычно не удастся. А чем позднее в технологической цепочке обнаружена ошибка, тем дороже обходится ее исправление. Получение же нескольких копий ПЛ приводит к большим потерям рабочего времени, ресурсов ЭВМ и перерасходу ПЛ.

Для решения поставленной задачи в САПР "Граф" был применен помехоустойчивый код Хемминга<sup>1,2,3</sup>. При этом 8 дорожек ПЛ разбиваются на 4 информационных, 3 проверочных и 1 - общей проверки на четность. 4 - разрядный код позволяет передать 16 кодовых слов. Приняв 1 код за код переключения регистра, можно передать уже 30 кодовых слов. Этого вполне достаточно для передачи данных монтажной схемы любой печатной платы. Расширенный линейный (7,4)-код Хемминга требует минимального количества проверочных разрядов и обеспечивает простоту и экономичность алгоритмов кодирования (декодирования). Такой код позволяет обнаруживать и автоматически исправлять одиночные ошибки, допущенные в каждой строке ПЛ, по любой дорожке, а также обнаружи-

вать ошибки кратности 2,3,5,7. Это гарантирует практически безошибочную передачу данных.

При кодировании используется порождающая матрица размерности  $n \times k$ , где  $n$  - общая длина кода,  $k$  - число информационных разрядов. Пусть нам надо сформировать кодовое слово (вектор)

$$\bar{u} = (b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1)$$

в котором разряды  $b_1 \div b_4$  - информационные, а  $b_5 \div b_7$  - проверочные. Возьмем порождающую матрицу

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Тогда, например, для кодового вектора  $\bar{a} = (1011)$  имеем  $\bar{u} = \bar{a} \cdot G = (1001011)$

т.е. проверочные разряды равны

$$b_5 = b_2 + b_3 + b_4$$

$$b_6 = b_1 + b_3 + b_4$$

$$b_7 = b_1 + b_2 + b_4$$

Здесь сложение берется по модулю 2. Разряд  $b_8$ , дающий общую проверку на четность, определяется как сумма разрядов  $b_1 \div b_7$ .

При декодировании используется проверочная матрица

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Нетрудно заметить, что содержимое каждого столбца матрицы  $H$  является двоичной записью его номера (при нашей нумерации справа налево). Для определения правильности передачи вектора  $\bar{u}$  вычисляется его синдром, равный вектору  $\bar{u} \cdot H^T$  (по определению). Если синдромом вектора  $\bar{u}$  является нулевой вектор, то передача прошла правильно, т.е. в принятом коде ошибок нет. Если же синдром вектора  $\bar{u}$  не нулевой, то при передаче произошла ошибка. Если принятый код содержит единичную ошибку в  $i$ -м разряде ( $i$ -й дорожке Ш), то его синдром будет совпадать с  $i$ -м столбцом матрицы  $H$ . В этом случае синдром, читаемый как двоичное число, дает номер разряда, в котором допущена ошибка. Для исправления ошибки значение этого разряда надо просто инвертировать.

Например, если код (1001011) принят верно, то его синдром равен (000). Если же, допустим, в этом коде допущена ошибка в 5-м разряде, т.е. принят код (1011011), то имеем

$$(1011011) \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (101)$$

Кроме того, при одиночной ошибке нарушается общая четность кода, проверяемая разрядом  $b_8$ . При двойной ошибке общая четность сохраняется, но синдром кода будет отличен от нуля.

Здесь необходимо отметить, что в силу простоты аппаратной реализации процедур кодирования (декодирования) кода Хемминга целесообразно непосредственно встраивать их в управляющую аппаратуру станков с программным управлением.

Далее, вследствие широкого использования перфокарт (ПК) для подготовки программ и данных, целесообразно применить и здесь помехоустойчивое кодирование. Устройства подготовки данных с перепрограммируемыми кодовыми матрицами позволяют это сделать. Здесь можно эффективно использовать (16,11)-код Хемминга, в котором на 11 информационных разрядов приходится 4 проверочных и 1 разряд общей проверки на четность. В этом случае, используя 7-разрядный код КОИ-7 (ASCII, ISO) и считая остальные информационные разряды (8+11) нулевыми, мы получим 12-разрядный код (7+4+1), соответствующий числу строк ПК. Можно использовать и код КОИ-8, взяв за основу (16,11)-код Хемминга. Тогда мы, совершенно ничего не теряя в информационной емкости ПК, получаем возможность автоматически исправлять одиночные ошибки в каждой колонке ПК и обнаруживать ошибки кратности 2,3,5,7,9,11. Реализация этого подхода дает значительный положительный эффект.

В заключение авторы благодарят Н.Н.Говоруна и Б.А.Безрукова за поддержку этой работы.

#### Литература

1. Hamming R.W., "Bell Syst. Techn. J.", 1950, 29.
2. Березюк Н.Т. и др. Кодирование информации (двоичные коды). Справочник. "Вища школа", Харьков, 1978.
3. Аршинов М.Н., Садовский Л.Е. Коды и математика. "Наука", М., 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1984 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Пахомов В.Л., Черненко Н.В.

11-84-861

Применение помехоустойчивого кодирования информации на перфоносителях

Для обеспечения надежности операций ввода/вывода перфолент в системе автоматизации проектирования и производства печатных плат "Граф" был применен помехоустойчивый код Хемминга, что позволило при минимальном количестве проверочных разрядов и простых алгоритмах кодирования/декодирования обнаруживать и автоматически исправлять одиночные ошибки в каждой строке перфоленты, а также обнаруживать одновременно ошибки кратности 2,3,5,7. Это обеспечивает практически безошибочную передачу данных. Такое помехоустойчивое кодирование целесообразно применять и при подготовке данных на перфокартах. Реализация этого подхода дает большую экономию рабочего времени, ресурсов ЭВМ и перфоносителей информации.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Pakhomov V.L., Chernenko N.V.

11-84-861

Use of Error-Correcting Data Coding on Perfocarriers

Error-correcting Hamming code was applied in order to guarantee the reliability of operations in/out of perfoband within the "Graf" system of automatic design and production of printed board circuit. This mode makes it possible using a minimal amount of check-in points in simple encoding (decoding algorithms, to detect and automatically correct single errors in each row of the perfoband as well as to detect simultaneously errors of multiplicities 2,3,5,7. Consequently, practically errorless transmissions of data is guaranteed. Such error-correcting coding turns out to be very reasonable also when preparing data on perfocards. Implementation of that approach results in a large shortening of working time, computer resources and of perfo-type information carriers.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984