

For citation:

**Rybin I. A., Rubanov V. G.** Mathematical Model of a Mobile Vehicle Control System, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 5, pp. 333–340.

DOI: 10.17587/mau.18.333-340

### References

1. **Berman S., Schechtman E., Edan Y.** Evaluation of Automatic Guided Vehicle Systems, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2008, doi: 10.1016/j.rcim.2008.02.009.
2. **Sieglwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D.** Introduction to autonomous mobile robots, Publishing house of Massachusetts Institute of Technology, 2004, 321 p.
3. **Martynenko Yu. G.** Motion Control of Mobile Wheeled Robots, *Journal of Mathematical Sciences*, 2007, vol. 147, no. 2, pp. 6569–6606.
4. **Al'-Ezzi A.** *Izvestiya YuZGU. Tekhnika i Tekhnologii*, 2011, no. 1, pp. 43–52 (in Russian).
5. **Rybin I. A., Rubanov V. G., Duyun T. A.** *Pribory i Sistemy. Upravlenie, Kontrol', Diagnostika*, 2014, no. 11, pp. 14–21 (in Russian).
6. **Rubanov V. G., Rybin I. A., Kizhuk A. S., Duyun T. A.** Patent RF № 2013104803/11, 27.08.2015. Byul. № 24 (in Russian).
7. **Rubanov V. G., Kizhuk A. S.** *Mobil'nye mikroprotsessornye sistemy avtomatizatsii transportno-skladskikh operatsii. Mobil'nye robototekhnicheskie sistemy* (Mobile microprocessor systems automate the transport and warehousing operations. Mobile robotic systems), Belgorod, Publishing house of BGTU im. V. G. Shukhova, 2011, 289 p. (in Russian).
8. **Ullrich G.** *Automated Guided Vehicle Systems. A Primer with Practical Applications*, Berlin, Springer, 2015, 227 p. DOI 10.1007/978-3-662-44814-4.
9. **Available** at: <http://www.ds-automotion.com/en/automotive/videos.html> (data obrashcheniya: 26.03.2016).
10. **Tkachev S. B.** *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Estestvennyye Nauki*, 2008, no. 2, pp. 33–55 (in Russian).
11. **Chuveiko M. V., Putov A. V.** *Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2012, no. 6, available at: [www.science-education.ru/106-7573](http://www.science-education.ru/106-7573) (date of access 09.01.2014) (in Russian).
12. **Martynenko Yu. G.** *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal*, 2000, vol. 6, no. 5, pp. 110–115 (in Russian).
13. **Rubanov V. G., Kizhuk A. S.** *Izvestiya Vuzov. Priborostroenie*, 2003, no. 11, pp. 39–43 (in Russian).
14. **Luakurva Dzh. P. A.** *Avtomatizatsiya transportno-skladskikh operatsii tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva asbestotsementnykh izdelii* (Automation of the transport and storage operations of the technological process of production of asbestos cement products): dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06, Belgorod, 2008, 167 p. (in Russian).
15. **Volkov N. I., Milovzorov V. P.** *Elektromashinnye ustroystva avtomatiki* (Electric machinery automation devices), Moscow, Vysshaya shkola, 1986, 335 p. (in Russian).
16. **Podlesnyi N. I., Rubanov V. G.** *Elementy sistem avtomaticheskogo upravleniya i kontrolya* (Elements of automatic control and monitoring systems), Kiev, Vyshcha shk., 1991, 461 p. (in Russian).

УДК 681.5.09

DOI: 10.17587/mau.18.340-345

**А. В. Гулай**, канд. техн. наук, зав. кафедрой, is@bntu.by, **В. М. Зайцев**, канд. техн. наук, доц., is@bntu.by, Белорусский национальный технический университет, Минск

## Кодовое разделение логических каналов передачи транзакций в интеллектуальных мехатронных системах

Предложен численный метод ускоренного выделения битов информационных потоков из бит-кадров при кодовом разделении логических каналов передачи транзакций на основе использования функций Уолша в интеллектуальных мехатронных системах. Проанализирована схема кодового разделения потоков битов за счет введения в мехатронную систему интеллектуальных мультиплексоров потоков битов источников информации на передающей стороне канала и интеллектуальных сепараторов потоков битов на приемной стороне. Особенность данной схемы кодового разделения логических каналов заключается в том, что она полностью реализуется за счет использования программных средств в составе интеллектуальной мехатронной системы.

**Ключевые слова:** интеллектуальные мехатронные системы, каналы передачи транзакций, кодовое разделение каналов, обработка бит-кадров, функции Уолша

### Введение

Развитие информационных технологий и средств мехатроники привело к построению систем комплексного автоматизированного управления различными производственно-технологическими процессами. Системы управления технологиями и производствами объединяют также группы разнообразных интеллектуальных устройств. Такие системы включают, как правило, интеллектуальные сенсорные устройства, ситуационные центры и центры выработки управленческих решений, а также функционально ориентированные исполнительные механизмы с дистанционным управлением. Современный производственно-технологический объект, как правило, насыщен радиоэлектронным оборудованием автоматизированного контроля и

управления, а также кабельными линиями связи и радиочастотными каналами передачи транзакций.

В большинстве проектов традиционно предусматривается раздельное использование канальных ресурсов источниками и потребителями информации, что сопровождается необходимостью прокладки огромного числа линий связи или выделением достаточного широкого спектра частот из состава весьма дефицитного частотного ресурса. Острота указанной проблемы в значительной мере может быть снижена за счет применения принципов кодового разделения (уплотнения) каналов передачи информации — CDMA (Code Division Multiple Access) [1–6]. Однако большинство проектных решений в этой области относится к сфере построения средств сотовой связи и в той или иной мере повторяет основные положения международной рекомендации

IS—95 [1, 2]. В качестве недостатков технологии CDMA можно отметить сложность технического построения и высокий уровень помех при увеличении числа одновременно функционирующих абонентов, сигналы которых на приемной стороне выделяются аппаратно-программными корреляторами [7—10].

С учетом вышеизложенного в данной работе представлен метод ускоренного выделения битов информационных потоков из бит-кадров при кодовом разделении логических каналов передачи транзакций на основе использования функций Уолша. Исследования показали, что в данном случае схема CDMA может быть полностью реализована программными средствами за счет введения в систему интеллектуальных мультиплексоров потоков битов источников информации на передающей стороне кабельного или радиочастотного каналов и интеллектуальных сепараторов потоков битов на приемной стороне. Установлено, что эти средства целесообразно применять выше уровней физического и логического каналов, но ниже уровня передачи транзакций.

#### Численный метод восстановления значений элементов бит-векторной строки

Рассмотрим численный метод ускоренного выделения битов информационных потоков из бит-кадров при кодовом разделении логических каналов на основе использования функций Уолша. При этом будем полагать, что аппаратные и программные средства передачи телеметрических данных в мехатронной системе должны обеспечивать обмен информацией между группой интеллектуальных сенсорных устройств и оборудованием центра обработки информации. Группа сенсорных компонентов включает  $n$  реально функционирующих независимых источников информации, которые для однонаправленной передачи потоков телеметрических транзакций используют один физический канал с кодовым разделением канального ресурса. Для передачи транзакций управления от оборудования центра обработки информации в направлении периферийных устройств должен применяться второй физический канал с самостоятельным кодовым разделением потоков транзакций между потребителями информации.

Информационная технология кодового разделения канального ресурса между различными источниками или потребителями информации предполагает параллельно-последовательную передачу транзакций, формируемых передающей стороной, с помощью следующих друг за другом информационных блоков, называемых бит-кадрами (или бит-таймами). Бит-кадры обеспечивают образование в одном физическом канале некоторого числа  $N$  логических каналов, в каждый из которых поступают биты транзакций соответствующих источников с исходной скоростью  $V = 1/\Delta t$ , где  $\Delta t$  — шаг по времени.

Схема движения информации в виде потоков битов от сенсорных источников 1, 2, ...,  $n$ , а также потоков битов резервных каналов  $(n + 1)$ ,  $(n + 2)$ , ...,  $N$  может быть представлена следующим образом:

- поток битов источника 1:

$$b_1[t + i\Delta t], b_1[t + (i - 1)\Delta t], b_1[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ b_1[t + \Delta t], b_1[t], b_1[t - \Delta t];$$

- поток битов источника 2:

$$b_2[t + i\Delta t], b_2[t + (i - 1)\Delta t], b_2[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ b_2[t + \Delta t], b_2[t], b_2[t - \Delta t];$$

...

- поток битов источника  $j$ :

$$b_j[t + i\Delta t], b_j[t + (i - 1)\Delta t], b_j[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ b_j[t + \Delta t], b_j[t], b_j[t - \Delta t];$$

...

- поток битов источника  $n$ :

$$b_n[t + i\Delta t], b_n[t + (i - 1)\Delta t], b_n[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ b_n[t + \Delta t], b_n[t], b_n[t - \Delta t];$$

- поток битов канала  $n + 1$ :

$$0_{n+1}[t + i\Delta t], 0_{n+1}[t + (i - 1)\Delta t], 0_{n+1}[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ 0_{n+1}[t + \Delta t], 0_{n+1}[t], 0_{n+1}[t - \Delta t];$$

...

- поток битов канала  $N$ :

$$0_N[t + i\Delta t], 0_N[t + (i - 1)\Delta t], 0_N[t + (i - 2)\Delta t], \dots, \\ 0_N[t + \Delta t], 0_N[t], 0_N[t - \Delta t].$$

Здесь  $b_j[t + i\Delta t]$  — значение бита источника  $j$  в момент времени  $t + i\Delta t$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$  — текущий номер отсчета времени, соответствующий номеру бит-кадра;  $j = 1, 2, \dots, N$  — номер источника. Величина  $\Delta t$  определяется в зависимости от требуемой скорости  $V$  передачи битов в информационных потоках источников.

Любой бит-кадр следует рассматривать как транспортный технологический блок мультиплексированных данных одновременно всех логических каналов. Каждый бит-кадр содержит специальным образом закодированные биты всех  $N$  логических каналов, при этом в составе текущего бит-кадра размещается по одному очередному биту каждого логического канала. В соответствии с рассматриваемой технологией передача одного бит-кадра должна осуществляться с помощью  $N$  тактов с продолжительностью такта  $\tau$ , которая удовлетворяет условию  $\tau < \Delta t/N$ .

Закрепление источника с конкретным номером  $j$  за определенным логическим каналом может осуществляться как статически, так и динамически. В первом случае номер логического канала на приемной стороне однозначно идентифицирует номер источника информации. Во втором случае идентификация источника должна осуществляться путем оперативного выделения и анализа адресной группы битов очередной транзакции после ее полного получения приемной стороной. При любом вари-

анте построения схемы идентификации источников в каждом логическом канале протоколом информационного взаимодействия передающей и приемной сторон должны быть выделены зарезервированные кодовые комбинации битов для обозначения фактов начала (комбинация "старт") и завершения (комбинация "стоп") передачи отдельных транзакций. Эти комбинации оперативно формируются передающей стороной, а выявляются и обрабатываются на приемной стороне.

Значение  $N$  задает потенциальное число источников, которые одновременно могут использовать ресурс одного физического канала. В незадействованных логических каналах системы идет перманентная передача кодов нулей до момента появления кодовой комбинации битов "старт". При заданном значении  $n$  число логических каналов системы  $N$  необходимо выбирать исходя из следующего условия:

$$N = 2^u; u \geq \text{Ant}[\log_2 n], \quad (1)$$

где  $\text{Ant}[\log_2 n]$  — функция Антье верхней целочисленной границы значения  $\log_2 n$ . Для  $N > n$  избыточные каналы могут рассматриваться как каналный резерв, который в ряде случаев целесообразно специально вводить в целях обеспечения перспективы развития системы.

Для любого момента времени  $t + i\Delta t$  первые по очереди значащие биты потоков всех  $n$  функционирующих источников и нулевые биты  $N - n$  резервных логических каналов группируются в единый бит-кадр. Из отдельных битов  $\{b_j[t + i\Delta t]\}$  информационных потоков предварительно образуется бит-векторная строка:

$$B_i[t + i\Delta t] = \{B_{ij}[t + i\Delta t]\}. \quad (2)$$

В технологических целях элементы строки представляются биполярными единичными значениями:

$$B_{ij}[t + i\Delta t] = +1, \text{ если } b_j[t + i\Delta t] = 1; \quad (3)$$

$$B_{ij}[t + i\Delta t] = -1, \text{ если } b_j[t + i\Delta t] = 0. \quad (4)$$

При кодировании в качестве сигнатуры бит-кадра используется тактированный по времени набор функций Уолша  $k$ -го порядка:

$$\{W_{k,v}\}; v = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где  $v$  — номера последовательных тактов передачи бит-кадра с продолжительностью такта  $\tau$ . При этом в такте с номером  $v$  передаются биты с номерами  $j = v$  всех источников. Значения  $h_{k,v} = \pm 1$  каждой из функций Уолша  $W_{k,v}$  в тактах  $v$  являются элементами строк матрицы Адамара:

$$H_N = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1v} & \dots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2v} & \dots & h_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1} & h_{i2} & \dots & h_{iv} & \dots & h_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{Nv} & \dots & h_{NN} \end{pmatrix}; h_{ii} = \pm 1. \quad (6)$$

В каждом такте  $v$  выполняется передача не самих значений элементов бит-векторной строки  $B_i[t + i\Delta t] = \{B_{ij}[t + i\Delta t]\}$ , а результирующих параметров тактовых кодообразований  $\{\rho_{i,v}\}$ , которыми заполняется  $i$ -й бит-кадр:

$$\{\rho_{i,v}\} = B_i[t + i\Delta t] \times H_N, \quad (7)$$

при этом

$$\rho_{i,v} = B_{i1}h_{1v} + B_{i2}h_{2v} + \dots + B_{iv}h_{vv} + \dots + B_{iN}h_{Nv}. \quad (8)$$

Для более компактного изображения элементы бит-векторной строки  $B_i[t + i\Delta t]$  далее будут представляться соответствующими значениями  $B_{ij}$ .

На приемной стороне на основе полученного в  $i$ -м бит-кадре вектора тактовых параметров кодообразований  $\{\rho_{i,v}\}$  и известного набора функций Уолша  $\{W_{k,v}\}$  необходимо восстановить значения элементов бит-векторной строки  $B_i[t + i\Delta t]$ . Предлагаемый прямой метод сепарации предполагает непосредственное решение системы линейных алгебраических уравнений (8) относительно значений  $B_{ij}$ . Однако при  $N = 32; 64; 128$  и более затраты времени на решение уравнений могут оказаться чрезмерно большими, в то время как они не должны превышать граничного значения  $\Delta t$ . В практическом отношении это обстоятельство превращает рассматриваемый метод в неэффективный или вообще в непригодный.

#### Метод ускоренного выделения битов информационных потоков из бит-кадров

Рассмотрим возможную схему ускорения метода восстановления значений элементов бит-векторной строки, для чего воспользуемся особенностями формирования и свойствами матриц Адамара  $H_G$ ,  $G = 2^g$ ;  $g = 1, 2, \dots, u$ . Обычно матрицы Адамара формируются с использованием рекуррентного многошагового процесса:

$$H_G = \begin{pmatrix} H_{G/2} & H_{G/2} \\ H_{G/2} & -H_{G/2} \end{pmatrix}; H_1 = 1; H_2 = \begin{pmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Для реализации предлагаемого способа важным является такое свойство матрицы Адамара, как неизменяемость ее при транспонировании. Кроме того, следует учитывать тот факт, что множество функций Уолша задается произведениями функций Радемахера:

$$r_{k,v} = \text{sign}\{\sin[\pi 2^{k-1} v]\}, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} W_{0,v} &= 1; W_{1,v} = r_{0,v}; W_{2,v} = r_{1,v}; W_{3,v} = r_{1,v}r_{0,v}; \\ W_{4,v} &= r_{2,v}; W_{5,v} = r_{2,v}r_{0,v}; W_{6,v} = r_{2,v}r_{1,v}; \\ W_{7,v} &= r_{2,v}r_{1,v}r_{0,v}. \end{aligned} \quad (11)$$

При этом значения функций Уолша по числу знакоперемен начинают соответствовать элементам определенных строк матриц Адамара.

Выполним набор многоуровневых нисходящих равносильных преобразований системы линейных алгебраических уравнений. Схема вычислений может

быть представлена дихотомичным графом с  $u$  иерархическими уровнями вершин. При фиксированном значении  $N = 2^g$  на каждом уровне  $g = 1, 2, \dots, u$  необходимо обеспечить выполнение  $2^g$  однотипных шагов с вычислительными операциями сложения или вычитания. При этом для уровня  $g$  и шага  $s$  шаговые параметры  $\rho_{(g,s),i,j}$  в операциях сложения и параметры  $\rho_{(g,s),i,j}^*$  в операциях вычитания могут быть рекуррентно определены для каждого бит-кадра по факту его поступления на приемную сторону системы. Это фактически делает излишней реализацию нисходящего процесса непосредственного преобразования матриц уравнений и резко сокращает общую вычислительную сложность задачи.

Нисходящее равносильное преобразование первого уровня проведем путем выполнения операций первого шага алгебраического сложения уравнений с номерами  $1, 2, \dots, N/2$  и уравнений с номерами  $N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N$ . С учетом технологии построения матриц Адамара и функций Уолша равносильная система уравнений будет иметь следующий вид:

$$2[B_{i1}h_{1(N/2)} + B_{i2}h_{2(N/2)} + \dots + B_{i(N/2)}h_{(N/2)(N/2)}] = \rho_{(1,1),i,(N/2)}, \quad (12)$$

где для первого уровня преобразований ( $u = 1$ ) и первого шага ( $s = 1$ ) этого уровня

$$\begin{aligned} \rho_{(1,1),i,1} &= \rho_{i,1} + \rho_{i,(N/2+1)}; \\ \rho_{(1,1),i,2} &= \rho_{i,2} + \rho_{i,(N/2+2)}; \dots; \\ \rho_{(1,1),i,(N/2)} &= \rho_{i,(N/2)} + \rho_{i,N}. \end{aligned} \quad (13)$$

При шаговых операциях сложения имеет место подавление правой половины совокупности искомым неизвестных  $B_{i(N/2+1)}, B_{i(N/2+2)}, \dots, B_{iN}$  и удвоение коэффициентов неизвестных левой половины совокупности  $B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{i(N/2)}$ .

На втором шаге выполняются операции вычитания из уравнений с номерами  $1, 2, \dots, N/2$  уравнений с номерами  $N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N$ . Происходит подавление левой половины совокупности искомым неизвестных  $B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{i(N/2)}$  с удвоением коэффициентов неизвестных правой половины совокупности  $B_{i(N/2+1)}, B_{i(N/2+2)}, \dots, B_{iN}$ . При этом

$$2[B_{i(N/2+1)}h_{1(N/2+1)} + B_{i(N/2+2)}h_{2(N/2+2)} + \dots + B_{iN}h_{NN}] = \rho_{(1,2),i,N}^*, \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} \rho_{(1,2),i,(N/2+1)}^* &= \rho_{i,1} - \rho_{i,(N/2+1)}; \\ \rho_{(1,2),i,(N/2+2)}^* &= \rho_{i,2} - \rho_{i,(N/2+2)}; \dots; \\ \rho_{(1,2),i,(N=N/2+N/2)}^* &= \rho_{i,(N/2)} - \rho_{i,N}. \end{aligned} \quad (15)$$

Один уровень равносильных преобразований приводит к расчленению каждой системы алгебраических уравнений этого уровня на две системы и одновременно сокращает порядок каждой вновь получаемой системы в два раза, но матрицы рав-

носильных систем без учета умножения на коэффициент 2 остаются матрицами Адамара, и их элементы не требуют каких-либо пересчетов. Это позволяет с помощью операций сложения и вычитания выполнять шаги второго и последующих уровней нисходящих равносильных преобразований. Например, последовательные равносильные преобразования первого шага второго уровня с помощью операций сложения образуют следующий вычислительный процесс:

$$4[B_{i1}h_{1(N/4)} + B_{i2}h_{2(N/4)} + \dots + B_{i(N/4)}h_{(N/4)(N/4)}] = \rho_{(2,1),i,(N/4)}, \quad (16)$$

где для первого шага второго уровня преобразований получим:

$$\begin{aligned} \rho_{(2,1),i,1} &= \rho_{(1,1),i,1} + \rho_{(1,1),i,(N/4+1)}; \\ \rho_{(2,1),i,2} &= \rho_{(1,1),i,2} + \rho_{(1,1),i,(N/4+2)}; \dots; \\ \rho_{(2,1),i,(N/4)} &= \rho_{(1,1),i,(N/4)} + \rho_{(1,1),i,(N/2)}. \end{aligned} \quad (17)$$

После проведения первых шагов нисходящих равносильных преобразований на  $(u - 1)$ -м уровне результирующая система приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} [2^{(u-1)}][B_{i1}h_{11} + B_{i2}h_{21}] &= \rho_{(u-1,1),i,1}; \\ [2^{(u-1)}][B_{i1}h_{12} + B_{i2}h_{22}] &= \rho_{(u-1,1),i,2}, \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} \rho_{(u-1,1),i,1} &= \rho_{(u-2,1),i,1} + \rho_{(u-2,1),i,3}; \\ \rho_{(u-1,1),i,2} &= \rho_{(u-2,1),i,2} + \rho_{(u-2,1),i,4}. \end{aligned} \quad (19)$$

Сложение и вычитание этих уравнений приводит к следующим результатам:

$$\begin{aligned} [2^{(u-1)}](h_{11} + h_{12})B_{i1} &= \\ = \rho_{(u-1,1),i,1} + \rho_{(u-1,1),i,2} &= \rho_{(u,1),i,1}; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} [2^{(u-1)}](h_{21} - h_{22})B_{i2} &= \\ = \rho_{(u-1,1),i,1} - \rho_{(u-1,1),i,2} &= \rho_{(u,1),i,2}^*. \end{aligned} \quad (21)$$

Таким образом, обеспечивается прямой расчет значений двух неизвестных:

$$B_{i1} = [\rho_{(u-1,1),i,1} + \rho_{(u-1,1),i,2}] / [2^{(u-1)}(h_{11} + h_{12})] = \rho_{(u,1),i,1/2^u}; \quad (22)$$

$$B_{i2} = [\rho_{(u-1,1),i,1} - \rho_{(u-1,1),i,2}] / [2^{(u-1)}(h_{21} - h_{22})] = \rho_{(u,1),i,1/2^u}^*. \quad (23)$$

Параллельные равносильные преобразования с помощью операций вычитания образуют процесс расчета значений еще для одной пары неизвестных:

$$[2^{(u-1)}][B_{i(N/2+1)}h_{1(N/2+1)} + B_{i(N/2+2)}h_{1(N/2+2)}] = \rho_{(u-1,[u-1]^2),i,(N/2+1)}^*; \quad (24)$$

$$[2^{(u-1)}][B_{i(N/2+1)}h_{2(N/2+1)} + B_{i(N/2+2)}h_{2(N/2+2)}] = \rho_{(u-1,[u-1]^2),i,(N/2+2)}^*; \quad (25)$$

Дихотомичная схема вычислительного процесса для  $N = 8$

Уровень преобр.	Шаг	Операция сложения	Шаг	Операция вычитания
<b>I</b> $g = 1$	$s = 1$	$\rho_{i,1} + \rho_{i,5} = \rho(1, 1), i, 1$ $\rho_{i,2} + \rho_{i,6} = \rho(1, 1), i, 2$ $\rho_{i,3} + \rho_{i,7} = \rho(1, 1), i, 3$ $\rho_{i,4} + \rho_{i,8} = \rho(1, 1), i, 4$	$s = 2$	$\rho_{i,1} - \rho_{i,5} = \rho_{(1,2),i,5}^*$ $\rho_{i,2} - \rho_{i,6} = \rho_{(1,2),i,6}^*$ $\rho_{i,3} - \rho_{i,7} = \rho_{(1,2),i,7}^*$ $\rho_{i,4} - \rho_{i,8} = \rho_{(1,2),i,8}^*$
<b>II</b> $g = 2$	$s = 1$	$\rho(1, 1), i, 1 + \rho(1, 1), i, 3 = \rho(2, 1), i, 1$ $\rho(1, 1), i, 2 + \rho(1, 1), i, 4 = \rho(2, 1), i, 2$	$s = 2$	$\rho_{i,3} - \rho_{i,7} = \rho_{(1,2),i,7}^*$ $\rho_{i,4} - \rho_{i,8} = \rho_{(1,2),i,8}^*$
	$s = 3$	$\rho_{(1,2),i,5}^* + \rho_{(1,2),i,7}^* = \rho(2, 3), i, 5$ $\rho_{(1,2),i,6}^* + \rho_{(1,2),i,8}^* = \rho(2, 3), i, 6$	$s = 4$	$\rho_{(1,2),i,5}^* - \rho_{(1,2),i,7}^* = \rho_{(2,4),i,7}^*$ $\rho_{(1,2),i,6}^* - \rho_{(1,2),i,8}^* = \rho_{(2,4),i,8}^*$
<b>III</b> $g = 3$	$s = 1; 3; 5; 7$	$B_{i1} = [\rho_{(2,1),i,1}^* + \rho_{(2,1),i,2}^*]/8$ $B_{i3} = [\rho_{(2,2),i,3}^* + \rho_{(2,2),i,4}^*]/8$ $B_{i5} = [\rho_{(2,3),i,5}^* + \rho_{(2,3),i,6}^*]/8$ $B_{i7} = [\rho_{(2,4),i,7}^* + \rho_{(2,4),i,8}^*]/8$	$s = 2; 4; 6; 8$	$B_{i2} = [\rho_{(2,1),i,1}^* - \rho_{(2,1),i,2}^*]/8$ $B_{i4} = [\rho_{(2,2),i,3}^* - \rho_{(2,2),i,4}^*]/8$ $B_{i6} = [\rho_{(2,3),i,5}^* - \rho_{(2,3),i,6}^*]/8$ $B_{i8} = [\rho_{(2,4),i,7}^* - \rho_{(2,4),i,8}^*]/8$

где

$$\begin{aligned} & \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+1)}^* = \\ & = \rho_{(u-2, [u-2]^2), i, (N/2+1)}^* - \rho_{(u-2, [u-2]^2), i, (N/2+3)}^* \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+2)}^* = \\ & = \rho_{(u-2, [u-2]^2), i, (N/2+1)}^* - \rho_{(u-2, [u-2]^2), i, (N/2+4)}^* \end{aligned} \quad (27)$$

Вычитание и сложение этих уравнений приводит к следующим результатам:

$$\begin{aligned} B_{i(N/2+2)} &= \rho_{(u, u^2), i, (N/2+1)}^* / [(2^{(u-1)})(h_{1(N/2+2)} - \\ & - h_{2(N/2+2)})] = \rho_{(u, u^2), i, (N/2+2)}^* / 2^u; \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} B_{i(N/2+1)} &= \rho_{(u, u^2), i, (N/2+1)}^* / [(2^{(u-1)})(h_{1(N/2+1)} + \\ & + h_{2(N/2+1)})] = \rho_{(u, u^2), i, (N/2+1)}^* / 2^u, \end{aligned} \quad (29)$$

где

$$\begin{aligned} & \rho_{(u, u^2), i, (N/2+2)}^* = \\ & = \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+1)}^* - \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+2)}^* \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} & \rho_{(u, u^2), i, (N/2+1)}^* = \\ & = \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+1)}^* + \rho_{(u-1, [u-1]^2), i, (N/2+2)}^* \end{aligned} \quad (31)$$

Аналогичным образом могут быть получены конечные выражения для расчета значений остальных неизвестных в виде восходящего процесса на основании предварительно определенных  $B_{i1}, B_{i2}, B_{i(N/2+1)}, B_{i(N/2+2)}$ .

Дихотомичная схема вычислительного процесса для случая  $N = 8$  представлена в таблице.

Построение программных моделей интеллектуального мультиплексора и интеллектуального сепаратора в среде MATLAB показало высокую эффективность и устойчивость процессов их функционирования. Даже при  $N = 256$  обеспечивается надежная сепарация информационных битов и их разнесение по источникам при допустимых задержках выполнения операций. Существенный дополнительный выигрыш по времени возникает за счет того, что все операции сепаратора в реальном процессоре обработки бит-кадров могут осуществляться исключительно с помощью коротких команд целочисленной арифметики.

### Заключение

Современный производственно-технологический объект, как правило, насыщен радиоэлектронным оборудованием автоматизированного контроля и управления, а также кабельными линиями связи и радиочастотными каналами передачи транзакций. Уменьшение числа линий связи или числа частотных диапазонов при функционировании интеллектуальных мехатронных систем проводится за счет применения принципов кодового разделения каналов (CDMA). Недостатком данного способа уплотнения каналов является высокий уровень помех при увеличении числа одновременно функционирующих абонентов, сигналы которых на приемной стороне выделяются аппаратно-программными корреляторами. С учетом этого предложен численный метод ускоренного выделения битов информационных потоков из бит-кадров при кодовом разделении логических каналов передачи транзакций на основе использования функций Уолша в интеллектуальных мехатронных системах. Проанализирована схема кодового разделения потоков битов

за счет введения в мехатронную систему интеллектуальных мультиплексоров потоков битов источников информации на передающей стороне канала и интеллектуальных сепараторов потоков битов на приемной стороне. Особенность данной схемы кодового разделения логических каналов заключается в том, что она полностью реализуется за счет использования программных средств в составе интеллектуальной мехатронной системы. Построение программных моделей интеллектуального мультиплексора и интеллектуального сепаратора показало высокую эффективность и устойчивость процессов их функционирования.

#### Список литературы

1. **Феер К.** Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.

2. **Ипатов В. П.** Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 486 с.
3. **Варакин Л. Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
4. **Окунев Ю. Б.** Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами. М.: Радио и связь, 1991. 295 с.
5. **Dubendorf V. A.** *Wireless Data Technologies*. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. 254 p.
6. **Verdu S.** Wireless bandwidth in the making // *IEEE Communication Magazine*. 2000. Vol. 38, № 7. P. 53–58.
7. **Tse D., Viswanath P.** *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 323 p.
8. **Fazel K., Kaiser S.** *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. 300 p.
9. **Castoldi P.** *Multiuser Detection in CDMA Mobile Terminals*. London: Artech House, 2002. 227 p.
10. **Kuhn V.** *Wireless Communications over MIMO Channels. Applications to CD Mand Multiple Antenna Systems*. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 363 p.

## Code Division of the Logical Channels for Transmission of Transactions in the Intelligent Mechatronic Systems

**A. V. Gulay**, is@bntu.by✉, **V. M. Zaitsev**, is@bntu.by,  
Belarus National Technical University, Belarus, 220013, Minsk

*Corresponding author: Gulay Anatolii V.*, Associate Professor, Chief of Department, Belarus National Technical University, Belarus, 220013, Minsk, e-mail: is@bntu.by

*Received on April 07, 2016*

*Accepted on July 15, 2016*

*As a rule, modern engineering and manufacturing projects are saturated with electronic equipment for automated monitoring and control, as well as cable communication lines and radio frequency channels for transmission of transactions. During functioning of the intelligent mechatronic systems the number of the communication lines of the frequency ranges is restricted due to application of the CDMA principles. A drawback of this method of channelizing is connected with a high level of the interfering signals in case of an increased quantity of the simultaneously functioning subscribers, whereof signals at the receiving side are highlighted with the hardware and software correlators. Taking this into account, a numeric method was proposed for the accelerated data streams of the bits extraction from the frame bits during the code division multiple access to the transmission of the transactions on the basis of the use of the Walsh function and the intelligent mechatronic systems. The scheme of the code division of the bit streams was analyzed due to introduction of the information source bit streams to the mechatronic system of the intelligent multiplexers at the transmitting channel side and the intelligent bit streams separators at the receiving side. A peculiarity of this code division scheme for the logical channels is that it is fully implemented due to the use of the software as a part of the intelligent mechatronic system. Construction of the software models of the intelligent multiplexer and the intelligent separator proved their high efficiency and stability of their functioning. When up to 256 logical channels are formed in one physical channel, a reliable separation of the information bits is ensured, as well as their diversion by the sources with the allowed delays in the transactions' fulfillment. An essential extra time advantage occurs, because all the separator transactions in the real processor of the bit frames processing take place with the help of short commands of the integer arithmetic.*

**Keywords:** intelligent mechatronic systems, transmission channels for transactions, code division multiple access, bit frames processing, Walsh functions

For citation:

**Gulay A. V., Zaitsev V. M.** Code Division of the Logical Channels for Transmission of Transactions in the Intelligent Mechatronic Systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 5, pp. 340–345.

DOI: 10.17587/mau.18.340-345

#### References

1. **Feher K.** *Besprovodnaja cifrovaja svjaz'. Metody moduljatsii i rasschirenija spectra*, Moscow, Radio i Svjaz', 2000, 520 p. (**Feher, K.** (1995) *Wireless Digital Communications. Modulation and Spread Spectrum Applications*. NJ, Plumber Hall PTR. 544 p.)
2. **Ipatov V. P.** *Schirokopolosnye sistemy i kodovoe razdelenie signalov. Principy i prilozhenija*, Moscow, Tehnosfera, 2007, 486 p. (**Ipatov V. P.** (2004) *Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications*. Chichester, John Wiley & Sons. 373 p.)

3. **Warakin L. E.** *Sistemy svjazi s shumopodobnymi signalami* (Communication systems with noise-like signals), Moscow, Radio i Svjaz', 1985, 384 p. (in Russian).
4. **Okunev Ju. B.** *Cifrovaja peredatscha informacii fazomanipulirovannymi signalami* (Digital data transmission with phase-shift signals), Moscow, Radio i Svjaz', 1991, 295 p. (in Russian).
5. **Dubendorf V. A.** *Wireless Data Technologies*, Chichester, John Wiley & Sons, 2003, 254 p.
6. **Verdu S.** Wireless bandwidth in the making, *IEEE Communication Magazine*, 2000, vol. 38, no. 7, pp. 53–58.
7. **Tse D., Viswanath P.** *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2005, 323 p.
8. **Fazel K., Kaiser S.** *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*, Chichester, John Wiley & Sons, 2003, 300 p.
9. **Castoldi P.** *Multiuser Detection in CDMA Mobile Terminals*, London: Artech House, 2002, 227 p.
10. **Kuhn V.** *Wireless Communications over MIMO Channels. Applications to CD Mand Multiple Antenna Systems*, Chichester, John Wiley & Sons, 2006, 363 p.