

МАРТИНЮК ТетянаВінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-9952-9438>
e-mail: martyniuk.t.b@gmail.com**КОЖЕМ'ЯКО Андрій**Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-7323-7146>
e-mail: kvantron@gmail.com**БОРТНИК Геннадій**Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-7083-2775>
e-mail: bgen88@gmail.com**ВОЙНАЛОВИЧ Олександр**Вінницький національний технічний університет
e-mail: sashavoinalovich@gmail.com

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ «ТРИВАЛІСТЬ-КОД»

У статті представлено результати аналізу особливостей аналого-цифрового перетворення неперервної величини як тривалості вхідного сигналу у вихідний цифровий код. Перетворювачі, які працюють за таким принципом, відомі як аналого-кодові перетворювачі, а сам принцип перетворення є різновидом відомої широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Як вхідну аналогову інформацію може бути використано інформацію різної природи, наприклад, тривалість оптичного, електричного або звукового сигналу. Конкретно принцип даного перетворення з подальшим обробленням цифрової інформації використовує відомий логіко-часовий базис, оскільки основним операційним параметром перетворення є тривалість часу, а оброблення цифрових даних виконується за правилами картинної логіки з природним паралелізмом оброблення на двовимірному полі подання інформації. Особливістю такого підходу до перетворення тривалості вхідних сигналів є кодування вихідної цифрової інформації в одиничних кодах. У цьому випадку задіяно два відомих одиничних коди: одиничний нормальний та одиничний позиційний коди. Це пов'язано з тим, що одиничне кодування є найбільш пристосованим для аналого-цифрового перетворення «тривалість-код» через квантування тривалості вхідного сигналу часом спрацьовування лінійки бістабільних елементів. Показано, що найбільш прийнятною реалізацією стосовно швидкодії та енергоємності є симбіоз цих двох кодів, оскільки одиничний нормальний код є більш швидкодіючим при записі інформації, але програє одиничному позиційному коду в енергоємності при збереженні даних. Враховуючи контролєздатність одиничного позиційного коду, областю його ефективного застосування визначено кодування станів пристроїв керування та адресацію вмісту пам'ятовувальних пристроїв, наприклад, у складі асоціативних процесорів.

Ключові слова: аналого-цифрове перетворення, одиничний код, логіко-часове оброблення.

MARTYNIUK Tatiana, KOZHEMIAKO Andriy, BORTNYK Gennadiy, VOINALOVYCH Oleksandr
Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF FEATURES OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION "DURATION-CODE"

The article presents the analysis results of the features of the analog-to-digital conversion of a continuous value as the duration of the input signal into the output digital code. Converters that work according to this principle are known as analog-code converters, and the conversion principle is a type of well-known pulse-width modulation (PWM). Information of a different nature can be used as input analog information, for example, the duration of an optical, electrical or sound signal. Specifically, the principle of this conversion with further processing of digital information uses a well-known logic-time basis, since the main operational parameter of the conversion is the duration of time, and the processing of digital data is performed according to the rules of picture logic with natural parallelism of processing on a two-dimensional field of information presentation. A feature of this approach to the conversion of input signals duration is the coding of output digital information in unit codes. In this case, two well-known unit codes are involved: unit normal and unit positional codes. This is because unit encoding is best suited for duration-to-code analog-to-digital conversion due to the quantization of the input signal duration by the trigger time of a line bistable elements. It is shown that the most acceptable implementation in terms of speed and energy consumption is the symbiosis of these two codes, since the unit normal code is faster when recording information, but loses to the unit positional code in terms of energy consumption when storing data. Taking into account the controllability of a unit positional code, the area of its effective application is the coding of the states of control devices and the addressing of the contents of storage devices, for example, as part of associative processors.

Keywords: analog-to-digital conversion, unit code, logic-time processing.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Навоколишнє середовище є аналоговим за своєю природою сприйняття людиною. Разом з тим, організм людини пристосований для орієнтування у цьому світі. Це стосується таких факторів, як світло, тепло, дальність (відстань), колір, рух (наприклад, рух повітряних мас), а також час. Всі вони крім конкретних, належних тільки їм властивостей, мають одну загальну, а саме, тривалість у часі.

Разом з тим, уся наявна вимірювальна та обчислювальна техніка оперує оцифрованими даними. Отже, актуальною залишається потреба в ефективних перетворювачах інформації аналого-цифрового та цифро-аналогового типу із застосуванням як поширених двійково-кодованих, так і альтернативних способів подання цифрових даних [1, 2].

Аналіз досліджень та публікацій

Серед широко відомих публікацій на тему аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворень варто відзначити праці проф. О. Д. Азарова [1, 2], в яких увагу приділено надлишковим позиційним системам числення. Крім того, альтернативним двійковим методам кодування інформації, а саме, кодам Фібоначчі, присвячено монографію проф. В. А. Лужецького [3]. У низці монографій проф. В. П. Кожем'яки [4, 5] запропоновано специфічний метод перетворення вхідного зображення як неперервної оптичної інформації у цифровий код, для чого використовується різновид відомих одиничних кодів. Разом із тим, особливості перетворювачів неперервних величин в код у складі бортових систем оброблення сигналів детально розглянуто у монографії В. О. Погрібного [6].

Формування цілей статті

Метою роботи є аналіз особливостей аналого-цифрового перетворення із застосуванням такої характеристики як тривалість вхідної інформації з представленням результату з нетрадиційним кодуванням.

Різновид широтно-імпульсної модуляції

У монографіях проф. В. П. Кожем'яки [4, 5] наведено та докладно досліджено принцип перетворення неперервної величини, а саме тривалості вхідного сигналу у цифровий код. Такі перетворювачі відомі як аналого-кодові перетворювачі [6]. А сам принцип перетворення є різновидом відомої широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

У працях [4, 5] цей принцип перетворення оптичного сигналу визначено як «квантування світла променем, що несе у своїй тривалості інформацію». Разом з тим, такий підхід може бути ефективно застосований до вхідної аналогової інформації різної природи, наприклад, тривалості неперервного електричного сигналу, а сам метод перетворення можна визначити як аналого-цифрове (АЦ) перетворення «тривалість-код».

Отже, базове правило такого виду перетворення можна подати в такий спосіб [7]:

$$\theta = n \cdot \tau, \quad (1)$$

де θ – тривалість вхідного сигналу; τ – час спрацювання бістабільного елемента; n – кількість бістабільних елементів.

Ще однією особливістю даного методу АЦ перетворення є застосування при його реалізації так званого логіко-часового базису [4, 5, 6]. Таку назву операційного базису можна пояснити тим, що основним інформаційним параметром є тривалість часу, а оброблення інформації виконується за принципами картинної логіки, а саме, з природним паралелізмом подання та оброблення на двовимірному полі зображення [4, 5, 8, 9].

У даній статті не розглядається спосіб визначення та усунення похибок такого методу АЦ перетворення, хоча це є обов'язковою складовою у теорії аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення. У даному випадку основну увагу приділено особливостям кодування вихідної цифрової інформації.

Особливості одиничного кодування інформації

Особливістю АЦ перетворення «тривалість-код» за виразом (1) є те, що найбільш природним для кодування вихідної цифрової інформації є одиничний код [5, 10, 11]. Відомо три різновиди одиничних кодів: одиничний парний, одиничний нормальний та одиничний позиційний коди [10 – 12].

Кодові комбінації $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, де m – розрядність подання кодового слова, для трьох одиничних кодів мають такий вигляд:

а) для одиничного парного коду:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1100\dots 00, \\ \alpha_2 &= 0110\dots 00, \end{aligned} \quad (2)$$

...

$$\alpha_m = 0000\dots 11,$$

б) для одиничного нормального коду :

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 100\dots 0, \\ \alpha_2 &= 110\dots 0, \end{aligned} \quad (3)$$

...

$$\alpha_m = 111\dots 1,$$

в) для одиничного позиційного коду:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 100\dots 0, \\ \alpha_2 &= 010\dots 0, \end{aligned} \quad (4)$$

...

$$\alpha_m = 000\dots 1.$$

Серед наведених трьох кодів еквідистантним, тобто здатним виявляти одиночні помилки, є тільки одиничний позиційний код, оскільки відстань Хеммінга між будь-якими двома його кодовими комбінаціями (4) дорівнює 2 [13]. У подальшому доцільно розглянути тільки два коди одиничний нормальний (3) та одиничний позиційний (4), оскільки саме таке кодування є найбільш пристосованим для АЦ перетворення «тривалість-код» через квантування тривалості вхідних сигналів за правилом (1).

У статтях [14, 15] детально досліджено ці два коди за такими показниками, як контролездатність, надлишковість, систематичність, лінійність, циклічність, рівномірність та рівнозваженість. Для дослідження було задіяно такі базові поняття з алгебраїчної теорії кодування, як матричне кодування, блокова довжина, перевірна матриця, синдром, кодова попарна відстань, вага слова, суміжний клас, лідер. Крім того, у статті [16] розглянуто функціональну повноту логіко-часового принципу зображення інформації у вигляді цих двох одиничних кодів.

Очевидно, що для апаратного запису, збереження та зчитування одиничних кодів доцільно використовувати зсувні регістри як аналог так званих операційних модулів, що містять лінійку з n бістабільних елементів [4, 5, 10]. Останні зорієнтовано на реалізацію на оптоелектронній елементній базі.

У працях [4, 5, 10, 17] розглянуто особливості одиничних кодів з точки зору їх ефективної апаратної реалізації. Показано переваги їх реалізації на зсувних регістрах (операційних модулях) порівняно з реалізацією на двійкових лічильниках [17].

Крім того, у працях [4, 5, 10] проведено аналіз одиничного нормального та одиничного позиційного кодів стосовно таких параметрів, як швидкодія та енергоємність при їх записі та збереженні. В результаті підтверджено, що одиничний нормальний код є більш швидкодіючим при записі, ніж одиничний позиційний код, але програє йому в енергоємності при збереженні інформації. Тому, під час апаратної реалізації процесу запису і подальшого збереження інформації було запропоновано їх симбіоз, тобто використання одиничного нормального коду при записі («шторка») та перетворення результату в одиничний позиційний код при збереженні («маркер») [4, 5, 10].

Щодо області ефективного застосування тільки для одиничного позиційного коду, враховуючи його контролездатність, визначено доцільність кодування станів пристроїв керування на базі R-автомата [18] та адресацію вмісту запам'ятовувального пристрою, наприклад, в асоціативному процесорі [19].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Разом із відомими методами та засобами аналого-цифрового перетворення існує достатньо досліджений метод, що використовує перетворення типу «тривалість-код» у логіко-часовому базисі.

Доведено, що результатом такого підходу є формування вихідного сигналу у вигляді одного із двох одиничних кодів: одиничного нормального або одиничного позиційного коду, які є альтернативними двійковим кодам.

Дослідження обох одиничних кодів за вимогами алгебраїчної теорії кодування показало співвідношення їх базових показників, з яких найважливішим є показник контролездатності одиничного позиційного коду завдяки його практичній значимості, зокрема, для безпомилкового функціонування пристроїв керування.

Література

1. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: монографія / О. Д. Азаров. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2004. – 257 с.
2. Азаров О. Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі систем числення з ваговою надлишковістю: монографія / О. Д. Азаров. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2010. – 232 с.
3. Лужецький В. А. Високонадійні математичні Фібоначчі – процесори: монографія / В. А. Лужецький. – Вінниця: "УНІВЕРСУМ - Вінниця", 2000. – 248 с.
4. Кожемяко В. П. Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды / В. П. Кожемяко. – Тбилиси : Изд-во Мецниереба, 1984. – 260 с.
5. Свечников С. В. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / С. В. Свечников, В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко. – Киев: Наук. думка, 1987. – 256 с.
6. Погрибной В. А. Бортовые системы обработки сигналов / В.А.Погрибной. – Киев: Наук. думка, 1984. – 216 с.
7. Мартинюк Т. Б. Особливості аналого-цифрового перетворення в логіко-часовому базисі/ Т. Б.Мартинюк, М. О.Зайцев, М. В. Микитюк// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2021. - №1(50). – С. 80 – 85. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-80-85>
8. Кожем'яко В. П. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень: монографія/ В. П.Кожем'яко, Т. Б.Мартинюк, О. І Суприган., Д. І.Клімкіна. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 126с.
9. V. Kozhemiako, T. Martyniuk, O. Kozhemiako. Vector-matrix conversions for parallel information processing in logic-time base. Proceedings of SPIE, Vol. 4425. pp. 106-108. 2001.
10. Кожемяко В.П. Оптоэлектронная схемотехника: учеб. пособие / В.П. Кожемяко,

О.Г.Натрошвили, Т.Б.Мартынюк, Л.Ш.Имнаишвили. – Киев: УМК ВО, 1988. – 276с.

11. Самофалов К. Г. Цифровые многозначные элементы и структуры / К. Г. Самофалов, В. И. Корнейчук, А. М. Романкевич, В. П. Тарасенко. - Киев: Вища школа, 1974. – 162 с.

12. Мартинюк Т. Б. Особливості логіко-часового зображення числової інформації / Т. Б. Мартинюк, О. М. Тарасова, М. М. Аль-Хіярі // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – №1. – С.72 – 76.

13. Мартинюк Т. Б. Еквідистантність та одиничні коди / Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, О. С. Городецька // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2021. – №1(41). – С.20 – 24.

14. DOI : 10.31649/1681-7893-2021-41-1-20-24.

15. Кожем'яко В. П. Класифікація одиничних кодів / В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, В. В. Дмитрук,

В. В. Власійчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1(11). – С. 36 – 42.

16. Мартинюк Т. Б. Аналіз можливостей одиничного кодування числової інформації / Т. Б. Мартинюк, Мохамед Салем Нассер, В. В. Власійчук, О. М. Наконечний // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – №2(10). – С. 39 – 44.

17. Мартинюк Т. Б. Функційна повнота логічно-часового принципу зображення інформації / Т. Б. Мартинюк, М. М.Аль-Хіярі, С. А. Василецький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – №2. – С.48 – 52.

18. Мартинюк Т. Б. Ефективність одиничного кодування даних / Т. Б. Мартинюк, О. В.Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2021. – №2(51). – С 30-36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-30-36>.

19. Мартинюк Т. Б. Завадостійкість одиночного кодування для пристроїв керування / Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, М. А. Очуров // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2022. – №1(53). – С. 37-42. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-37-42>.

20. Мартынюк Т. Б. Организация ассоциативного процессора с поразрядно-последовательной обработкой информации/ Т. Б. Мартынюк // Электронное моделирование. – 1996. – Т.18. – №3. – С. 28 – 31.

References

1. Azarov O. D. Osnovy teorii analoho-tsyfrovoho peretvorennia na osnovi nadlyshkovykh pozytsiinykh system chyslennia: monohrafiia / O. D. Azarov. – Vinnytsia: UNIVERSUM, 2004. – 257 s.

2. Azarov O. D. Analoho-tsyfrove porozriadne peretvorennia na osnovi system chyslennia z vahovoiu nadlyshkovistiu: monohrafiia / O. D. Azarov. – Vinnytsia: UNIVERSUM, 2010. – 232s.

3. Luzhetskyi V. A. Vysokonadiini matematychni Fibonachchi – protsesory: monohrafiia / V. A. Luzhetskyi. – Vinnytsia: "UNIVERSUM - Vinnytsia", 2000. – 248 s.

4. Kozhemiako V. P. Optoelektronnye lohyko-vremennye ynformatsyonno-vychyslytelnye srody / V. P. Kozhemiako. – Tbylisy : Yzd-vo Metsnyereba, 1984. – 260 s.

5. Svechnykov S. V. Kvazyimpulsno-potentsyalnye optoelektronnye elementy y ustroistva lohyko-vremennoho typu / S. V. Svechnykov, V. P. Kozhemiako, L. Y. Tymchenko. – Kyev: Nauk. dumka, 1987. – 256 s.

6. Pohrybnoi V. A. Bortovye systemy obrabotky syhnalov / V. A. Pohrybnoi. – Kyev : Nauk. dumka, 1984. – 216 s.

7. Martyniuk T. B. Osoblyvosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia v lohiko-chasovomu bazysi / T. B. Martyniuk, M. O. Zaitsev, M. V. Mykytiuk // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2021. – №1(50). – S. 80 – 85. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-80-85>

8. Kozhemiako V. P. Kvantovi peretvoriuvachi na optoelektronnykh lohiko-chasovykh seredovyshchakh dlia oko-protseornoi obrobky zobrazen: monohrafiia / V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, O. I Supryhan., D. I. Klimkina. – Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2007. – 126 s.

9. V. Kozhemiako, T. Martyniuk, O. Kozhemiako. Vector-matrix conversions for parallel information processing in logic-time base. Proceedings of SPIE, Vol. 4425. Pp. 106 –108. 2001.

10. Kozhemiako V.P. Optoelektronnaia skhemotekhnika: ucheb. posobyie / V. P. Kozhemiako, O. H. Natroshvyly, T. B. Martyniuk, L. Sh. Ymnaishvily. – Kyev: UМК VO, 1988. – 276 s.

11. Samofalov K. H. Tsyfrovye mnohoznachnye elementy y struktury / K. H. Samofalov, V. Y. Korneichuk, A. M. Romankevych, V. P. Tarasenko. – Kyev: Vyshcha shkola, 1974. – 162 s.

12. Martyniuk T. B. Osoblyvosti lohiko-chasovoho zobrazhennia chyslovoi informatsii / T. B. Martyniuk, O. M. Tarasova, M. M. Al-Khiiri // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. – 2000. – №1. – S.72 – 76.

13. Martyniuk T. B. Ekvidystantnist ta odynychni kody / T. B. Martyniuk, O. V. Voitsekhovska, O. S. Horodetska // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2021. – №1(41). – S.20 – 24. DOI : 10.31649/1681-7893-2021-41-1-20-24.

14. Kozhemiako V. P. Klasyfikatsiia odynychnykh kodiv / V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, V. V.Dmytruk, V. V. Vlasiihuk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii – 2006. – №1(11). – S. 36 – 42.

15. Martyniuk T. B. Analiz mozhlyvostei odynychnogo koduvannia chyslovoi informatsii / T. B. Martyniuk, Mokhamed Salem Nasser, V. V.Vlasiichuk, O. M.Nakonechnyi // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2005. – №2(10). – S. 39 – 44.

16. Martyniuk T. B. Funktsiina povnota lohichno-chasovoho pryntsypu zobrazhennia informatsii/ T. B. Martyniuk, M. M.Al-Khiiri, S. A. Vasyletsyky // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. – 2000. – №2. – S. 48 –52.

17. Martyniuk T. B. Efektyvnist odynychnogo koduvannia danykh/ T. B. Martyniuk, O. V.Voitsekhovska //Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2021. – №2(51). – S. 30 – 36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-30-36>.

18. Martyniuk T.B. Zavadostiikist odynochnogo koduvannia dlia prystroiv keruvannia / T. B. Martyniuk, O. V. Voitsekhovska, M. A. Ochkurov // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2022. – №1(53). – S. 37 –42. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-37-42>.

19. Martyniuk T.B. Orhanyzatsiia assotsyatyvnoho protseornia s porazriadno-posledovatelnoi obrabotkoi ynformatsyy / T. B. Martyniuk // Elektronnoe modelyrovanye. – 1996. – Т.18. – №3. – S. 28 – 31.