

FEATURES OF OBTAINING BIOHYDROGEN FROM CARBOHYDRATE-CONTAINING WASTE OF PROCESSED GRAIN

K.Bekbayev, B. Tolysbayev, A. Toleugazykyzy

This article provides information about the main methods for producing biohydrogen, describes the mechanism of acid hydrolysis and dark fermentation of carbohydrate-containing raw materials. The main types of hydrogen-producing bacteria that carry out dark fermentation under anaerobic conditions are presented, where the advantages of Escherichia coli bacteria in the production of hydrogen are noted.

In addition, the description and the main results of studies on the production of biohydrogen, carried out with brewer's grains and post-alcohol grain stillage, where indicators of the ORP and pH of substrates with different concentrations of raw materials and conditions of pre-treatment were studied. Curves of changes in ORP over time were constructed, obtained from substrates with 4% and 10% concentrations of brewer's grains and distillery grain stillage under appropriate conditions for processing raw materials and using bacteria.

Key words: carbon-containing raw wastes, hydrolysis, bacterium, fermentation, biohydrogen.

FTAXP: 28.21.19

Е.Д. Өмірбаев, Н.Н. Ташатов, Ә.Н. Исайнова

Нұр-Сұлтан қаласы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

ӨЗІНДІК ОРТОГОНАЛДЫ КОДТАРДЫ ДЕКОДТАУ АЛГОРИТМДЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІ

Аңдатпа: Қазіргі жоғары жылдамдықты байланыс жүйелерінде ақпарат берудің сенімділігін арттыру мәселесі қателерді түзететін кодтар мен олардың декодтау алгоритмдерін қолдануды талап етеді. Сонымен бірге көптеген алгоритмдердің практикалық қолданылуын тежейтін негізгі факторлар тек түзету қабілеті ғана емес, сонымен қатар іске асырудың және орындаудың күрделілігі болып табылады. Жұмыста ақ-гаусс шуы бар арнадағы өзіндік ортогональды кодтарды декодтаудың негізгі алгоритмдерінің сипаттамалары зерттелген. Шекті дешифратордың модификациясы болып табылатын өзіндік ортогональды кодтар үшін кодтаушы және көп шекті дешифратордың құрылымы қарастырылады. Блоктық кодтар үшін шекті дешифратордың дизайны кодтың ұзындығына теориялық шектеулермен кепілдендірілгеннен гөрі көп қателерді түзетуге мүмкіндік беретіні анықталды. Модельдеу нәтижесінде алынған қателерді түзету тиімділігі тұрғысынан көп табалдырықты дешифраторлардың жұмысының бағалары келтірілген. Қағазда шекті дешифраторды модификациялау негізінде шекті дешифратордың қателіктерін түзетудің жоғары тиімділігі, іске асырудың күрделілігін сақтай отырып, радиоарналарға тән көп шекті сигнал таралуы бар байланыс арналарында қолданыла алатындығы көрсетілген.

Түйін сөздер: декодтау, кодтау, көп шекті декодер, телекоммуникациялар, цифрлық радиобайланыс.

Параметрі кездейсоқ өзгертін арналар үшін ауытқу шуы бар қателерді түзетудің классикалық теориясы, негіздері В.А. Котельников, К.Шеннон және көптеген басқа ғалымдардың еңбектерінде дамыған, сигналдар мен бөгеулілердің, арналардың нақты сипаттамаларын ескере отырып дамуын жалғастыруда [1]. Қазіргі уақытта біз тиімділік көрсеткіштеріне қол жеткізілетін, шектеулі көрсеткіштерге жақын жүйелерді құру туралы айтып отырмыз. Бөгеуліге орнықты радиожүйелерді құрудың күрделілігі өртүрлі радио және сымды байланыс желілерін интерфейстеу қажеттілігі, өртүрлі радиобайланыс жүйелерінің стандарттарының сәйкес келмеуі сияқты факторларды жан-жақты есепке алу қажеттілігінде. Сондықтан жаңа буынды ұялы байланыс өртүрлі байланыс жүйелерінің осындай функционалды интеграциясы болуы керек, онда пайдаланушыда бірнеше байланыс жүйелеріне жету үшін бір ғана терминалы болуы керек [2]. Мұндай терминалдарды жасаудың ең перспективалы технологиясы – қолданушыларға бағдарламалық жасақтаманы дербес өзгерте отырып, байланыс және хабар тарату жүйелері арасында ауысуға мүмкіндік беретін SDR технологиясы [3, 4].

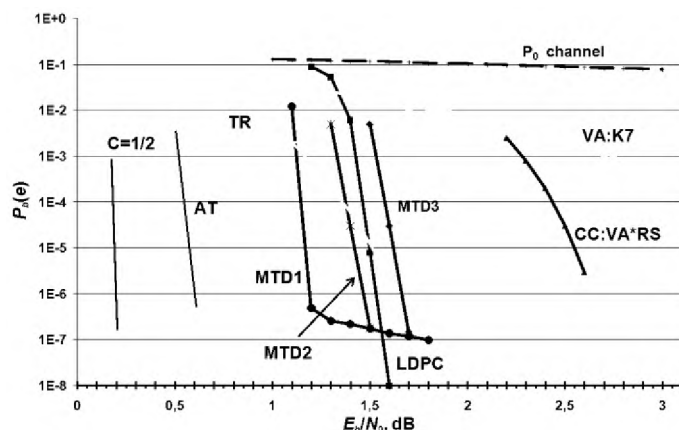
Екінші жағынан, жоғары жылдамдық пен сенімділіктің бір мезгілде талап етілуі қателіктерді түзетудің тиімді кодтарын қолданатын радио жүйелерін қолдану қажеттілігіне әкеледі, олар байланыс арналарының өртүрлі модуляцияларына, архитектураларына және сипаттамаларына сәйкес келеді. Мысалы, 4-буындағы LTE-A сымсыз байланыс

стандартында бір уақытта бірнеше технологиялар қолданылады: OFDM және MIMO STC-мен үйлеседі [5-7].

Сондықтан келесі қадам – өзгермелі параметрлері бар радиоарналарда хабарларды берудің жоғары сенімділігіне мүмкіндік беретін адаптивті телекоммуникациялық жүйелерді құру әдістерін әзірлеу және қолдану. Жылдам өзгеретін радиобайланыс каналдарында қолдану үшін теориялық тұрғыдан мүмкін болатын қателерді түзету тиімділігін, деректерді өңдеудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз ететін қателерді түзету кодтарын декодтаудың жаңа әдістері осы жұмыстың өзектілігін анықтайды.

Шолуда [8] қазіргі уақытта кодтау теориясында қателіктерді түзетудің бірнеше әдістері ғана белгілі екендігі көрсетілген, олар арналардың өткізу қабілеттілігінің шамалы орындалуын қамтамасыз ете отырып, жұмыс істеуді қамтамасыз етеді. 1-суретте $R = 1/2$ кодтық жылдамдықпен Гаусс каналында өзіндік ортогональды кодтарды декодтаудың негізгі алгоритмдерінің имитациялық модельдеу нәтижелерінде алынған сипаттамалары келтірілген. Ол дәстүрлі түрде децибелдегі E_b/N_0 арнасының разрядтық энергия деңгейінің функциясы ретінде әр түрлі декодтау алгоритмдерінің $P_b(e)$ разрядтық ықтималдық тәуелділіктерін көрсетеді. Тігінен $C = 1/2$ Гаусс арнасының сыйымдылығы $C = R = 1/2$ код жылдамдығына тең болатын шу деңгейін білдіреді. P_0 нүктелі сызығы кодтау болмаған кезде қате ықтималдығын белгілейді. АТ шекарасы турбо кодтардың шектеулі мүмкіндіктерін көрсетеді, алайда бұл сыныптың алгоритмдерінің күрделілігіне байланысты жабдықтың сипаттамаларына ене алмайды.

VA: K7 қисығы конволюциялық кодтар үшін кеңінен қолданылатын Витерби алгоритмінің коэффициентін көрсетеді, кодтың ұзындығы $K = 7$, ал CC: VA * RS тәуелділігі Витерби алгоритмі мен Рид-Соломон кодына негізделген тізбектелген схемаға сәйкес келеді. LDPC қисығы 64800-биттік DVB-S2 Төмен тығыздықтағы паритетті тексеру (LDPC) декодерінің минимумына арналған. TR графигі CDMA2000 3060 биттік турбо-коды үшін дешифратордың нақты мүмкіндіктерін ұсынады.



Сурет 1 – Декодтаудың негізгі алгоритмдерінің сипаттамалары $R = 1/2$ код жылдамдығы кезінде аддитивті ақ Гаусс шуы бар арнада (ААГШ)

Өкінішке орай, бұл әдістердің барлығы, жоғары шу жағдайында жұмыс істеген кезде, бағдарламалық қамтамасыз етуді және аппараттық құралдарды енгізудің өте жоғары күрделілігіне ие, бұл оларды жылдамдығы жоғары деректерді беру жүйелерінде практикалық қолдануды қиындатады және бұл кодтар оңтайлы емес, бұл олардың байланыс каналының өткізу қабілеттілігіне олардың тиімділігін одан әрі жуықтауды қиындатады.

Қателерді түзету алгоритмін жасаудың қызықты бағыты көп шекті декодтау (КШД) [9]. Гаусс арнасындағы көп шекті дешифраторларды зерттеу нәтижелері олардың өте жақсы түзету мүмкіндіктерін көрсете отырып, код ұзындығының сызықтық орындалу күрделілігімен тіпті өте ұзын кодтарды оңтайлы декодтауға мүмкіндік беретіндігін көрсетті [9-13]. Екілік Гаусс арнасындағы конволюциялық іске асырудағы КШД алгоритмі және демодулятордағы сигналдың 4 разрядтық квантталуы MTD1 графигіндегі 1-суретте көрсетілген.

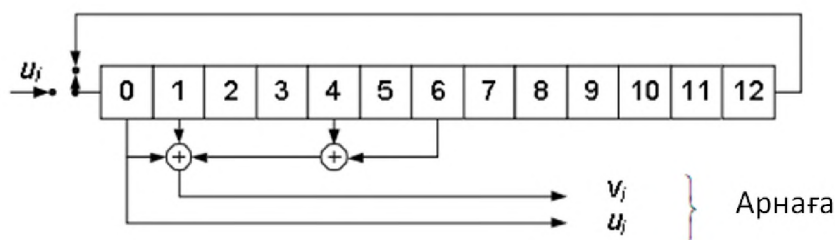
Қазіргі уақытта ол іздеу алгоритмі сияқты іс жүзінде оңтайлы, Гаусс каналының өте төмен энергиясындағы $E_b / N_0 = 1,2$ дБ ұзын кодтарды декодтайды, бұл кезде оның өткізу қабілеттілігі C шамамен 1 дБ құрайды [7]. Осылайша, MTD1 шу деңгейінде жұмыс істейді,

онда таратқыштың қуаты тек $\sim 26\%$ құрайды, яғни оның төрттен бір бөлігі ғана $C = 1/2$ деңгейінен асып түседі.

Одан кейін, КШД үшін шу деңгейінің $E_b / N_0 = 1,5$ дБ дейін шамалы төмендеуімен тек $I = 90$ итерациясы қажет және конволюциялық декодер ерітіндісінің кешігуі шамамен 1 Мбит құрайды, бұл MTD2 графигінде көрсетілген. Ал $E_b / N_0 = 1,8$ дБ болғанда, КШД алгоритмінің үш еселенген кідірісімен, Reid-Solomon кодының декодерімен Viterbi алгоритмінің салыстырмалы түрде күрделі ретті каскадтық схемасынан 40 итерациясы бар (MTD3 қисығы) әдеттегі КШД MTD дешифраторы жақсы болып шығады.

Осылайша, біздің елде және шетелде зерттеушілерді кодтаумен салыстырмалы түрде сәтті дамыған MTD декодерлерін және Гаусс арналарына арналған басқа негізгі алгоритмдерді егжей-тегжейлі салыстыру көрсеткендей, соңғы онжылдықта ешқандай LDPC алгоритмдер, турбо немесе декодтаудың салыстырмалы күрделілігі бар кез келген басқа әдістер MTD сипаттамаларына $E_b / N_0 \sim 1,2$ дБ-ге тіпті жақындамаған. Олардың соңғы онжылдықтағы нақты сипаттамалары шартты энергетикалық шекараны $E_b / N_0 \sim 1,5$ дБ-ны каскадты тізбектерді қолданғанда да жеңе алмады, бұл Шеннон шекарасына жақын болған кезде MTD үшін бірінші графикпен салыстырғанда үлкен айырмашылықты құрайды.

Көп шекті декодерлер (КШД) әдісін профессор В.В.Золотарев ұсынған болатын, ол қарапайым Мессе шекті декодерінің дамытылған түрі болып табылады [9]. Бұл әдіс блоктық және өзіне ортогональды кодтарды (ӨОК) декодтауға мүмкіндік береді. ӨОК-ды кодтау операциясын жүзеге асыру үшін ығысу регистрі негізінде құрылатын қарапайым схемаларды қолдануға болады. Мысалы, $g(x) = 1+x+x^4+x^6$ полиномымен туындайтын блоктық ӨОК кодерінің схемалары 2-суретте көрсетілген. Қарастырып отырған блоктық кодқа арналған көпшекте декодер схемасы 3-суретте көрсетілген.

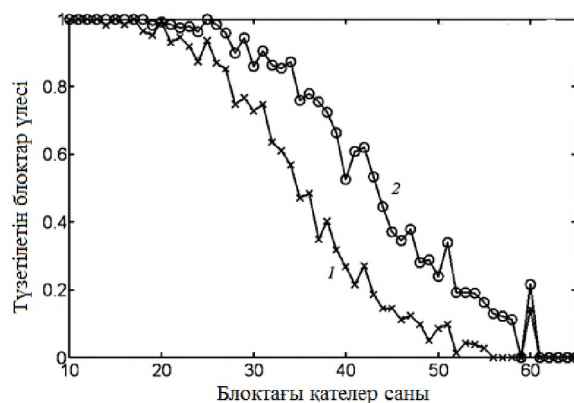


Сурет 2 – Блоктық ӨОК кодері, $R = 1/2$, $d = 5$, $n = 26$ [9].



Сурет 3 – Көпшекте ӨОК, $R = 1/2$, $d = 5$, $n = 26$ [9].

4-суретте кәдімгі шекті декодерді (ШД) қолдана отырып $R = 1/2$, $d = 11$ және $n = 1000$ тең өзіндік ортогональды кодтың екілік симметриялы каналында (ЕСК) екі рет қайта декодтаудың тәжірибелік нәтижелері көрсетілген. Графиктің абсциссасында кодтар блогында оның декодталуына дейінгі каналдардың жалпы саны, ал ординатада дұрыс декодталған блоктардың үлесі көрсетілген. 1 қисық алынған код блогын түзетудің бірінші әрекетіне сәйкес келеді, ал 2 қисық – сол блоктың екінші түзетуіне сәйкес келеді. Графиктерден көрініп тұрғандай, блоктағы 30 арналық қателермен, ЕСК хабарламалары сияқты байланыс арнасында бұрмаланған осындай хабарламалардың шамамен $3/4$ бөлігі шекті декодер арқылы қателерден толық тазартылады. $D = 11$ үшін ШД-де блоктағы тек 5 қатені түзетуге кепілдік берілгеніне назар аударыңыз. Сонымен қатар, жалпы 40-қа жуық қателіктер болған жағдайда да, бірінші әрекеттен кейін дұрыс декодталған блоктардың үлесі $1/4$ артық.



Сурет 4 – $R = 1/2$, $d = 11$ және $n = 1000$ мәндерімен өзіндік ортогоналды кодтардың шекті декодтарын қайталауды модельдеу нәтижелері: 1 – әрекет 1; 2 – әрекет 2

Блоктағы қателіктер саны шамамен 50 немесе одан көп болғанда, шекті алгоритм мүлдем жұмыс істемейтінін әрі қарай ескеру маңызды. Осыған қарамастан, тіпті 40 қателік болса да, ШД қабылданған блоктардың айтарлықтай пропорциясында шынайы хабарламаны қалпына келтіреді, ал $d = 11$ минималды код арақашықтығымен кепілдендірілгеннен сегіз есе көп қателерді түзетеді. Бірақ бұл жеткіліксіз! Қарастырылып отырған кодта екінші қатені түзету әрекетінен кейін бастапқы 40 қате үшін дұрыс декодталған блоктардың саны шамамен екі есеге көбейеді және жартысына жақындайды. Осыған байланысты қателерді түзетудің екінші әрекетінде шекті дешифратор кепілдендірілген түзету қабілетінен тыс қателерді қайта түзетуге тырысатынын ескеріңіз. Демек, ШД-да қайта декодтау да пайдалы болуы мүмкін.

Қарастырылып отырған код үшін үшінші декодтау итерациясы дұрыс декодталған блоктардың үлесін арттыру тұрғысынан іс жүзінде ештеңе бермейтіні белгілі болғанымен, бұл кәдімгі шекті дешифрлеу бойынша бірінші және екінші әрекеттердің «нормативтен жоғары» тиімділігі, бұл потенциалдық мүмкіндіктерді терең зерттеудің және нақты шекті алгоритмдердің нақты сипаттамаларын зерттеудің өзектілігін көрсетеді.

Ақпаратты беру үшін сандық радио жүйелерінде қолданылатын арналар спутниктік байланыс арналарына қарағанда едәуір күрделі қателік сипаттамасымен сипатталады. Атап айтқанда, радиоарналарда сигналдың көпсәулелі таралу эффектісі пайда болады, нәтижесінде қуаттылықтың әлсіреуі немесе сигналдың сөнуі мүмкін. Өшудің әртүрлі түрлерімен күресу үшін әртүрлі тәсілдер қолданылады. Өшумен күресудің тиімді әдістерінің бірі уақыт, жиілік және кеңістік бойынша сигналдарды таратуды ерекше атап өтуге болады. Әрине, ең жақсы нәтижелерге әр түрлі тәсілдерді кешенді қолдану арқылы қол жеткізуге болады, мысалы жиілікті селективті өшірумен күресу үшін бірнеше таратқыш және бірнеше қабылдаушы антенналары бар каналды (кеңістіктің әртүрлілігі), жиілікті бөлу мультиплекстеуін және қателерді түзету кодтау әдістерін қолдануға болады. Гаусс арналарында жұмыс істегенде өзін жақсы жағынан дәлелдеген MTD дәл осы жағдайларда тиімді болады деп күтілуде.

Әдебиеттер

1. Johannesson R. Zigangirov K.Sh. Fundamentals of Convolutional Coding. // 2nd Edition. – Wiley – IEEE Press. – 2015. – 688 p.
2. Harada H. Software defined radio prototype toward cognitive radio communication systems // First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. – 2005., Baltimore, MD, USA, 2005. – Pp. 539–547.
3. Mitola J., Maguire G.Q Cognitive radio: making software radios more personal Personal Communications. // IEEE Communications Magazine.- 1999.– Volume 6, Issue 4. – Pp. 13 – 18.
4. Dillinger M., Madani K., and Alonistioti N. Software defined radio: architectures, systems, and functions. // Wiley, 2003.– 454 p.
5. Parkvall S., Furuskar A. and Dahlman E. Evolution of LTE toward IMT-advanced. // IEEE Communications Magazine. – 2011.– Vol. 49, N. 2. – Pp. 84–91.
6. Shen Z., Papasakellariou A., Montojo J., Gerstenberger D. and Xu F. Overview of 3GPP LTE-Advanced carrier aggregation for 4G wireless communications // IEEE Communications Magazine. – 2012. – Vol. 50, No. 2. – Pp. 122– 130.

7. Aggarwal P. and Bohara V. A. On the Multi-Band Carrier Aggregated Nonlinear LTE-A System // IEEE Access. – 2017. – Vol. PP, No. 99. – Pp. 1-14.
8. Zolotarev V.V., Satibaldina D.Zh., Chulkov I.V. et al Review of achievements in the optimization coding theory for satellite channels and Earth remote sensing systems: 25 years of evolution // Current problems in remote sensing of the Earth from. 2017. – Volume 14, Issue 1. – Pp. 9-24.
9. Zolotarev V., Zubarev Y., Ovechkin G. Optimization Coding Theory and Multithreshold Algorithms. – Geneva, ITU, 2015. – 159 p. (e-book reference: <http://www.itu.int/pub/S-GEN-OCTMA-2015>).
10. Омирбаев Е.Д., Сатыбалдина Д.Ж., Ташатов Н.Н. Разработка декодера для систем радиосвязи с программно-определяемыми параметрами // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. – 2017. – №2. – с.630-636.
11. Сатыбалдина Д.Ж., Исайнова А.Н., Ташатов Н.Н., Дулатов Н.А. Проектирование и моделирование последовательных и параллельных каскадных схем помехоустойчивого кодирования // Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. – 2019. – № 2(127). – С. 78-87.
12. Zolotarev V., Ovechkin G., Satibaldina D., Tashatov N., Adamova A., Mishin V. Efficiency multithreshold decoders for self-orthogonal block codes for optical channels. // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. – 2014. – vol.8. – pp.487–495.
13. N.A. Kuznetsov, V.V. Zolotarev, G.V. Ovechkin, R.R. Nazirov, D.Zh. Satibaldina, E.D. Omirbayev. Overview of polar codes problems from Optimization Error Correction Coding Theory technologies points of view // Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. – 2020, – 14 (4). – Pp. 9-26.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ САМООРТОГОНАЛЬНЫХ КОДОВ

Е.Д. Омирбаев, Н.Н. Ташатов, А.Н. Исайнова

Проблема повышения достоверности передачи информации в современных высокоскоростных системах связи требует использования кодов, корректирующих ошибки, и алгоритмов их декодирования. При этом ключевыми факторами, сдерживающими практическое использование многих алгоритмов, является не только корректирующая способность, но и сложность реализации и быстродействие. В работе исследованы характеристики основных алгоритмов декодирования самоортогональных кодов в канале с аддитивным белым гауссовским шумом. Рассмотрена структура кодера и многопорогового декодера самоортогональных кодов, который является модификацией порогового декодера. Выявлено, что конструкция порогового декодера для блочных кодов позволяет исправлять большее число ошибок, чем это гарантируется теоретическими ограничениями на длину кода. Представлены оценки производительности многопороговых декодеров по эффективности исправления ошибок, полученные в результате имитационного моделирования. В работе показано, что высокая эффективность исправления ошибок многопороговых декодеров на основе модификации порогового декодера при сохранении невысокой сложности реализации может быть использовано в каналах связи с многолучевым распространением сигнала, свойственным для радиоканалов.

Ключевые слова: кодирование, декодирование, многопороговый декодер, телекоммуникации, цифровая радиосвязь.

EFFICIENCY OF DECODING ALGORITHMS FOR SELF CODES

E. Omirbaev, N. Tashatov, A. Isainova

The reliability increasing problem of the information transmission in modern high-speed communication systems requires the error-correcting codes and their decoding algorithms using. At the same time, the key factors that restrain the practical use of many algorithms are not only the correcting ability, but also the complexity of implementation and performance. The characteristics of the main decoding algorithms for self-orthogonal codes in a channel with additive white Gaussian noise are considered in the paper. The structure of an encoder and a multi-threshold decoder for self-orthogonal codes, which is a modification of M threshold decoder, is considered. It was found that the design of the threshold decoder for block codes allows correcting a larger number of errors than is guaranteed by the theoretical constraints on the code length. Evaluations of the performance of multithreshold decoders in terms of error correction efficiency obtained as a result of simulation are presented. It shows that the multithreshold decoder with the low implementation complexity and high error correction efficiency can be used in communication channels with multipath signal propagation, which is typical for radio channels.

Key words: coding, decoding, multi-threshold decoder, telecommunications, digital radio communication.