

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Толеухан Айдана

Сызықтық кодтарды оңтайлы таратудың анализі

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

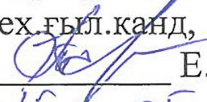
Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

тех. ғыл. канд., профессор

 Е.Таштай

«15» 05 2019 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: Сызықты кодтарды оңтайлы таратудың анализі

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:



Толеухан Айдана



Рецензия беруші

ҚазҰАУ, ЭҰЖА каф.

меңгерушісі

доктор PhD.,

қауымдастырылған професор

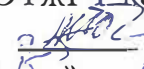


Ж.С Шыныбай

«13» 05 2019 ж

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф т.ғ.к, ассоц.проф.

 Ж.Б Илипбаева

«15» 05 2019 ж

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

техн. ғыл. канд.

Е. Таштай

«15» 01 2019 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Толеухан Айдана Азаматқызы

Тақырыбы «Сызықты кодтарды оңтайлы таратудың анализі»

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. № 1162-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “25” сәуір 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) БЧХ коды $d \geq 5$;

2) Хэмминг коды $d=3$;

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі;

а) Телекоммуникациялық жүйелерде сызықтық кодтарды таратуды талдау.

ә) Блокты сызықтық кодтарды кодталу және декодталу әдістерін талдау.

б) Блокты сызықтық кодтардың есептеу бөлімі.

в) Блокты сызықтық кодтардың моделі.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызықты блокты кодтардан алынған тор сұлбасы көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1) Прокис Дж. Цифровая Связь. Радио и Связь, 2000. 797 бет

2) Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.

2-басылым. Вильямс баспа үйі, 2003 1104 бет

3) Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов 2002

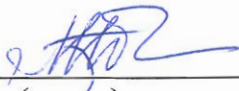
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Негізгі бөлім	20.01.2019 - 01.03.2019	nok
	02.03.2019-02.04.2019	nok
	01.04.2019–15.04.2019	nok

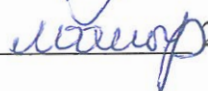
Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТжҒТ каф.сениор-лекторы Тайсариева К.Н.	15.05 19	

Ғылыми жетекшісі _____ Л. Б. Илипбаева
(қолы) 

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ А.Толеухан


Күні “ 5 ” _____ 2018 ж.


Аңдатпа

Бұл дипломдық жұмыста сызықты кодтарды оңтайлы таратуға талдау қарастырылған. Ақпараты тарату жүйесінің жалпы қағидаларын сипаттайтын материал және дискретті байланыс арналардың жиі қолданылатын үлгілері және олардың негізгі сипаттамалары көрсетілген, сондай-ақ осы жұмыста қателерді түзететін кодтардың негізгі ұғымдары келтірілген және сызықтық кодтардың ең маңызды қасиеттері қарастырылған. Сызықты блокты кодтардың негізгі параметрлерінің есептеулері келтіріліп, зерттелді.

Дипломдық жұмыста Matlab Simulink бағдарламасының көмегімен сызықты кодтар модельдері құрылып талданды.

Аннотация

В этой дипломной работе рассмотрены оптимальный анализ распределения и кодовые строки.

В системе передачи информации описаны принципы и дискретные связи и часто используемые виды каналов передачи и показаны их основные характеристики. В работе приведены методы кодирования и декодирования линейно блочных кодов. Проведены расчеты по определению основных параметров линейно блочных кодов. В дипломной работе построены модели линейных кодов с помощью программы Matlab Simulink

Annotation

In this thesis examined the optimal analysis of the distribution and code lines.

The information transmission system describes the principles and discrete communication and frequently used types of transmission channels and shows their main characteristics. The paper presents the methods of coding and decoding linear block codes. Calculations are carried out to determine the basic parameters of linear block codes. In the thesis constructed models of linear codes using the program Matlab Simulin

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Телекоммуникациялық жүйелерде сызықтық кодаларды таратуды талдау	10
1.1 Сандық байланыс жүйелерінің элементтері	10
1.2 Байланыс арналарының моделі	11
1.3 Байланыс арнасының өткізу қасиеті	13
1.4 Шуға төзімді кодтар	18
2 Сызықтық кодтарды кодтау және декодтау әдістері	19
2.1 Сызықтық кодтардың кодталу әдістері.	19
2.2 Сызықтық кодтардың декодталу әдістері	20
2.3 БЧХ кодының $d=4$ кодталу әдісі	22
2.4 Хэмминг коды $d_{\min}=3$.	25
3 Бөгеуілге төзімді кодтарды Matlab Simulink бағдарламасы арқылы моделдеу	27
3.1 Matlab Simulink бағдарламасы	27
3.2 БЧХ сызықтық блоктық кодын зерттеу	33
3.3 Жүйелі сызықтық блоктық кодты зерттеу	39
3.4 Жүйелі сызықтық блоктық код және БЧХ-ны салыстыру моделі	42
Қорытынды	44
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	45

КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда ақпарат алмасуды тиімді ұйымдастыру адамдардың нәтижелі қызметінің басты шартына айналды. Қоғамның қалыпты қызметі үшін қажетті ақпарат көлемі күннен күнге өсуде. Ақпаратты жіберу, өңдеу және сақтаудың шынайылығына қойылатын жоғары талаптар – қатені табу және түзету мүмкіндігін қамтамасыз ететін ақпаратты кодтау қажеттігін дәлелдеді.

Ұсынылған дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты сызықты кодтарды оңтайлы тарату әдістерін талдау .

Соңғы кезде бөгеуілдерден қорғалған кодтар теориясы мен практикасының дамуының негізі – деректерді өңдеу құрылғыларын, есептеу жүйелері мен желілерін, басқару жүйелерін, ғылыми зерттеуді автоматтандыру жүйелерін жасаумен байланысты. Сызықты кодтар өзінің кодтау және декодтау қасиеттеріне және техникалық жүзеге асырылуының қарапайымдылығына байланысты, ақпарат жіберудің дәлдігін талап ететін жүйелерде кең қолданыс тапты.

Ұсынылған дипломдық жұмыста бөгеуілге қарсы тұратын кодтарды кодтау мен декодтау алгоритмдерінің мүмкіндігін іске асыратын арнайы есептер қарастырылған.

Бірінші бөлімде ақпарат беру жүйесінің жалпы қағидаларын сипаттайтын негізгі түсініктер қарастырылған, дискретті байланыс каналдарының жиі қолданылатын үлгілері және олардың негізгі сипаттамаларын қалай есептеу керектігі сарапталған.

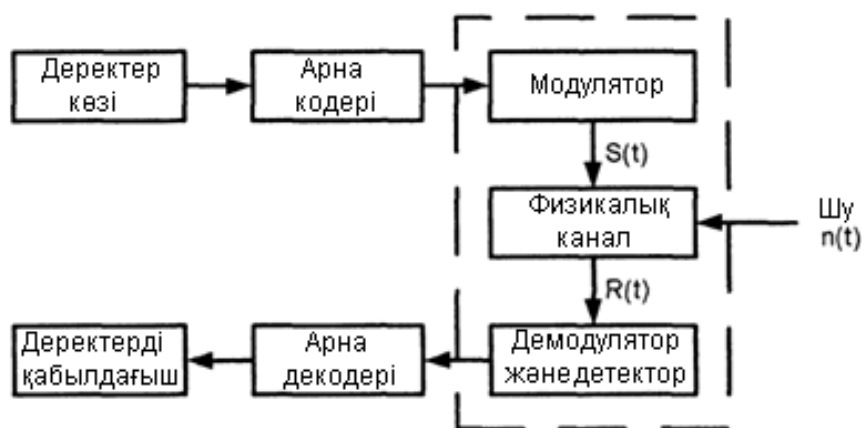
Жұмыстың екінші бөлімінде сызықтық кодтардың қолдану ерекшеліктері алгоритмдері, сызықты блокты кодтардың негізгі параметрлерінің есептеулері келтірілген.

Үшінші бөлімде бөгеуілге төзімді кодтардың модельдерін зерттеу қарастырылған. Matlab Simulink бағдарламасының көмегімен сызықты кодтар модельдері құрылып сарапталды.

1 Телекоммуникациялық жүйелерде сызықтық кодаларды таратуды талдау

1.1 Сандық байланыс жүйелерінің элементтері

Шуға төзімді кодтаудың негізгі міндеті - сандық ақпаратты беру жүйесінің бөлігі ретінде кодтау/декодтау құрылғыларын пайдалану арқылы берілетін деректердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету проблемасын шешу, оның сұлбасы 1.1 суретте көрсетілген [15]. Бұл схема шуылға төзімді кодтау теориясында кеңінен пайдаланылады, өйткені ол практикада орын алатын көптеген жағдайларды қамтиды.



1.1 сурет - Сандық ақпаратты беру жүйесінің құрылымдық схемасы

Сұлбаның негізгі қағидаларын қарастырайық. Біріншіден, деректер көзі деректерді екілік таңбалар ретінде жасайды. Әдетте «нөлдер» және «бірліктер» бір-бірінен тәуелсіз және бірдей ықтималдықпен пайда болады деп болжанады. Арна кодері, содан кейін қабылдағыш ақпаратқа кейбір артықшылығын енгізеді (бұл процесс кодтау деп аталады), ол декодер коммуникациялық арна арқылы деректерді беру барысында пайда болатын қателерді түзете алады.

Кодерден шыққан кодталған деректер модуляторға қосылады, ол кейбір модуляция әдісімен оларды $S(t)$ аналогтық сигнал ретінде көрсетуді жүзеге асырады. Модулятор әр екі символды $M=2$ мүмкін сигналдарының біреуінде $s_0(t)$ және $s_1(t)$ көрсетуі мүмкін (бұл жағдайда екілік модуляция туралы айтылады) және $M=2^q$ мүмкін сигналдар көмегімен q -биттық блоктарды ($q>1$) жібере алады (M -позиция модуляциясы).

Физикалық арнада $S(t)$ сигналы шудың $n(t)$ әсеріне ұшырайды. $S(t)$ сигналына шудың $n(t)$ әсер ету дәрежесін анықтау үшін әдетте E_s/N_0 сигнал-шу қатынасы пайдаланылады, бұл сигнал қуатын P_C шу күшіне $P_{ш}$ қатынасы ретінде анықталады. Көбінесе бұл ара қатынас децибелл ретінде көрсетіледі, яғни $E_s/N_0 = 10 \lg(P_C/P_{ш})$. Графиктердегі сигналдан шуылға дейінгі барлық коэффициенттер децибелдерде және барлық формулалар $E_s/N_0 = P_C/P_{ш}$ көрінеді.

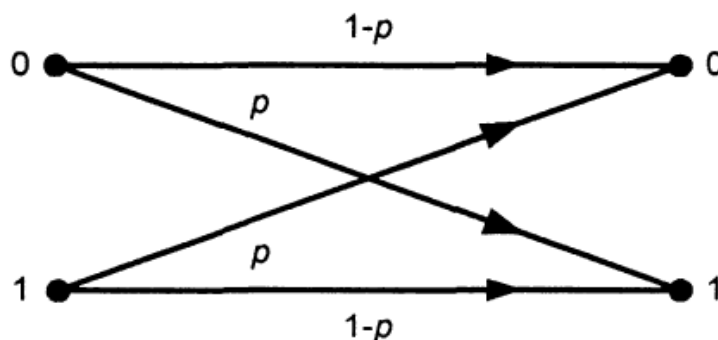
Демодулятор арнадан алынған сигналды $R(t)$ берілген деректердің бағалануын білдіретінсандар тізбегіне түрлендіреді. Содан кейін детектор демодулятордың шығысын Q -деңгейінде кванттайды. Егер $Q=M$ болса, детектор жіберілген символдар туралы қатаң шешім қабылдайды, бірақ егер $Q>M$ болса, детектор жұмсақ шешімдер қабылдайды.

Содан кейін квантталған детектордың шығысы арна декодеріне жіберіледі, ол кодер арқылы енгізілген артықшылығын пайдаланып, деректер көзінен берілетін хабарды анықтайды (бұл процесс декодтау деп аталады).

1.2 Байланыс арналарының моделі

Сандық ақпаратты беру жүйесінің блоктық сұлбасының ең маңызды бөлігі кодтаушы мен декодер үшін күрделі немесе дискретті арна болып табылады, ол 1.1 суретте сызықшаға салынған. Бұл арнаның ең көп тараған математикалық модельдерін қарастырамыз.

Ең қарапайымы - 1.2 суретте бейнеленген сызбаның және қосымша шуылмен арнадағы бинарлы модуляцияны пайдалану жағдайына сәйкес келетін екілік симметриялық арна (ЕСА), (яғни, $R(t)$ шығыс сигналы $S(t)$ кіріс сигналының және $n(t)$ шуының суммасына тең) және демодулятордың қатаң шешіміне тең арна болып табылады.



1.2 сурет - Екі симметриялық арна

Бұл каналдың кірісі мен шығысы - екі ықтимал екілік символдардың жиынтығы $X=\{0, 1\}$ және $Y=\{0, 1\}$. ЕСА сондай-ақ, X символын беру кезінде Y таңбасының арнадан қабылдау ықтималдығын анықтайтын өтпелі ықтималдықтар $P(Y|X)$ жиынтығымен сипатталады. ЕСА үшін өтпелі ықтималдықтар өрнектер арқылы беріледі:

$$\begin{aligned} P(Y=0|X=0) &= P(Y=1|X=1) = 1-p; \\ P(Y=0|X=1) &= P(Y=1|X=0) = p; \end{aligned} \quad (1.1)$$

мұнда p - таңбаның бұрмалануының орташа ықтималдығы.

Ұсынылған сипаттамадан, ЕСА-ның негізгі сипаттамасы - бұл p таңбасының бұрмалану ықтималдығы. $s_0(t) = -s_1(t)$ екі керісінше сигналдарды қолдану жағдайында E_s/N_0 -ға бұрын көрсетілген сигнал-шу қатынасына қатысты бұл мәнді жазамыз:

$$p = Q\left(\sqrt{2\frac{E_s}{N_0}}\right) \quad (1.2)$$

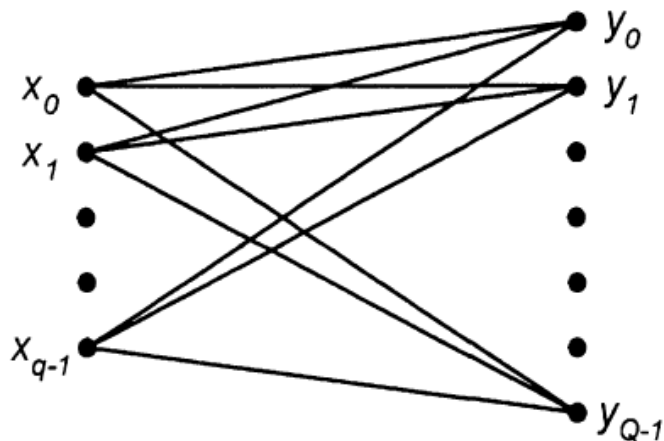
мұндағы $Q(x)$ - формула бойынша анықталатын функция

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.3)$$

Неғұрлым жалпы арна үлгісі - дискретті жадысыз арна (ДЖА). Бұл арнаның кірісі $X=\{x_0, x_1, \dots, x_{q-1}\}$ q -лықтаңбалар, ал шығысы $Y=\{y_0, y_1, \dots, y_{Q-1}\}$ Q -лық таңбалары болып табылады. «Жадысыз» термині арнаның шығыс символы тек ағымдағы кіріс символына байланысты екенін білдіреді. ДЖА көптеген qQ өту ықтималдығы арқылы сипатталады

$$P(y_i|x_j)=P(Y=y_i|X=x_j) \quad (1.4)$$

мұнда $i=0, 1, \dots, Q-1$ және $j=0, 1, \dots, q-1$. ДЖА үшін өтпелі ықтималдықтар уақыт бойынша тұрақты және түрлі таңбалардың өтуі тәуелсіз болып табылады. Бұл арна моделінің графикалық көрінісі 1.3 суретте көрсетілген.



1.3 сурет - Дискретті жадысыз арна

ДЖА-ның ерекше жағдайы - бұдан әрі q СК деп аталатын q -лық симметриялық арна болып табылады. Модулятор q ортогоналды сигналдарды қолдана отырып және демодулятор тарапынан қатаң шешім қабылдағанда алынған бұл арна дискретті кіріспен сипатталады $X=\{x_0, x_1, \dots, x_{q-1}\}$, дискретті шығыс $Y=\{y_0, y_1, \dots, y_{Q-1}\}$ және өтпелі ықтималдықтар жиынтығы

$$P(y_i|x_j) = \begin{cases} 1 - P_q, & \text{егер } i = j; \\ \frac{P_q}{q-1}, & \text{егер } i \neq j; \end{cases} \quad (1.5)$$

мұнда P_q — сигнал-шу қатынасына тәуелділігі, q -лық таңбасының бұрмалану ықтималдығы

$$P_q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{x^2}{2}} dx \right)^{q-1} \right] e^{-\frac{(y - \sqrt{\frac{E_s}{N_0}})^2}{2}} dy \quad (1.6)$$

Қарастырылып отырған соңғы арна үлгісі детекторлардың шығыс санының шексіз саны бар (яғни, кванттау жоқ, $Q=\infty$) ДЖА нәтижесінде ақ гаусс шуылымен (АБГШ) қосылған арна болып табылады. Бұл жағдайда шу - гаусстық кездейсоқ айнымалы, нөлдік орташа және дисперсия $\sigma^2=1/(2E_s/N_0)$. Осылайша, АБГШ бар арна дискретті кіріспен сипатталады: $X=\{x_0, x_1, \dots, x_{q-1}\}$, үздіксіз шығыс $Y=\{y_0, y_1, \dots, y_{Q-1}\}$ және өтпелі ықтималдықтар

$$p(y|X = x_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y-x_j)^2}{2\sigma^2}}, j = 0, 1, \dots, q-1 \quad (1.7)$$

Бұл арна үлгісі үшін E_s/N_0 сигнал-шу қатынасына қате ықтималдылығының p -ға тәуелділігі 1.2 өрнегіне сәйкес анықталады.

1.3 Байланыс арнасының өткізу қасиеті

Арнаның негізгі сипаттамаларының бірі - оның кірісі X және шығысы Y арасындағы ең үлкен орташа өзара ақпарат $I(X; Y)$ ретінде анықталған оның өткізу қабілеттілігі C . Бұл тұжырымдаманың маңыздылығы шиеленісті арна үшін кодтау теоремасына негізделген [25], онда екілік хабарламалардың беру жылдамдығы (немесе 1.4бөлімде анықталған код жылдамдығы) арнаның C өткізу қабілеттілігінен аз болса, онда дұрыс таңдалған кодер және декодер қате ықтималдығы төмен шуылмен арнадағы каналға бере алады.

ДЖА өткізу жолағы төмендегідей есептеледі:

$$C = \max_{P(x_i)} I(X; Y) = \max_{P(x_i)} \sum_{j=0}^{q-1} \sum_{i=0}^{Q-1} P(x_j) P(y_i|x_j) \log[P(y_i|x_j)/P(y_i)] \quad (1.8)$$

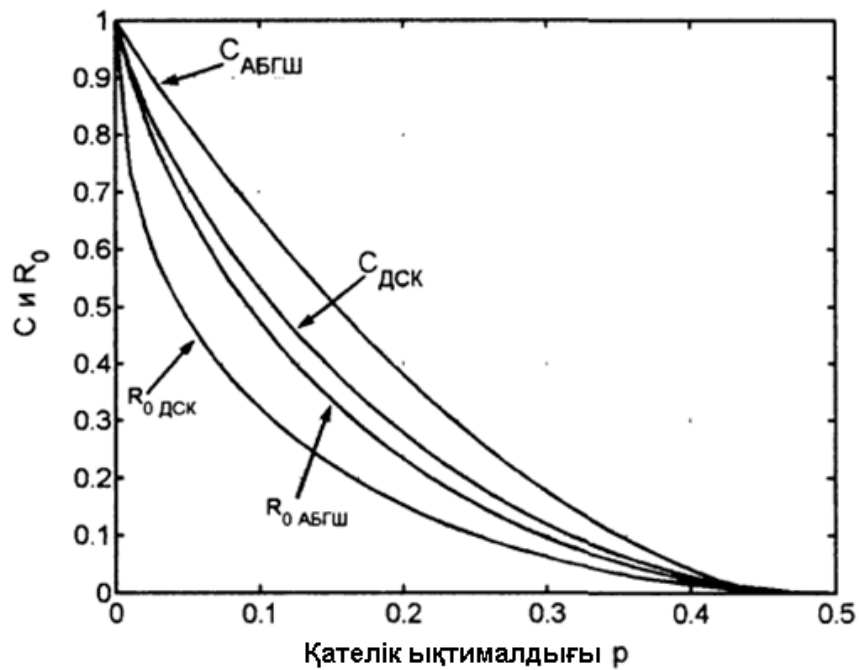
Мұнда максимизациялау $P(x_j)$ кіріс таңбаларының ықтималдығының барлық ықтимал жиынтығынан орындалады. Арна симметриялы болған жағдайда максимизация тең қолжетімді кіріс таңбаларымен қол жеткізіледі, яғни, $P(x_j) = 1/q, j=0, 1, \dots, q-1$.

ЕСА үшін өткізу жолағы

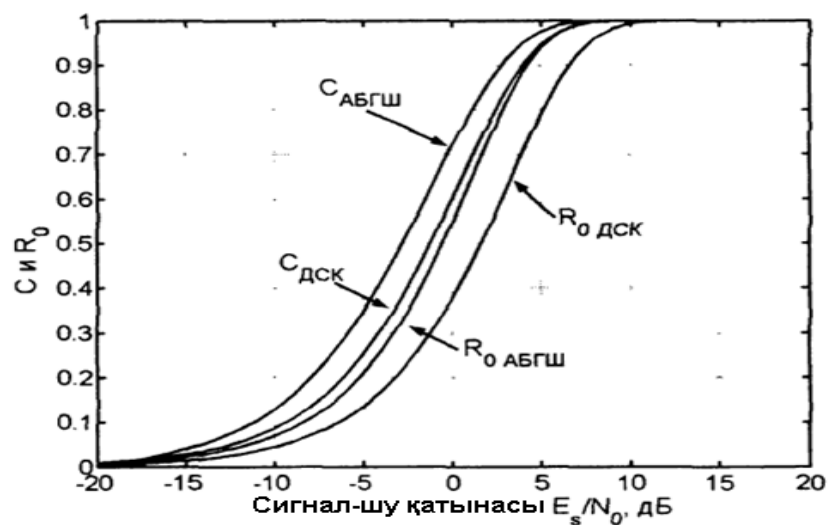
$$C = 1 + p \log_2 p + (1 - p) \log_2(1 - p) \quad (1.9)$$

Байланыстағы арнадағы ЕСА арқылы өткізу қабілеттілігінің қателік ықтималдығы p және сигналдан шуылға қатынасы кестесі 1.4 және 1.5-суретте ұсынылған.

АБГШ арнасы үшін өткізу жолағы C келесідей анықталады:



1.4 сурет - C арнасының өткізу қабілеттілігінің және R_0 есептеу жылдамдығының қателік ықтималдылығына тәуелділігі p



1.5 сурет - C арнасының өткізу жолағының ені мен R_0 есептеу жылдамдығының сигнал-шу қатынасына E_s/N_0 тәуелділігі

$$C = \max_{P(x_i)} \sum_{i=0}^{q-1} \int_{-\infty}^{\infty} p(y|x_i) P(x_i) \log_2 \frac{p(y|x_i)}{p(y)} dy \quad (1.10)$$

мұндар $p(y|X = x_j)$ 1.7 формуласы бойынша есептеледі, және

$$p(y) = \sum_{k=0}^{q-1} p(y|x_k) P(x_k) \quad (1.11)$$

АБГШ-мен екі ықтимал кірістері бар арнада жұмыс істеу кезінде $X=\{-1, 1\}$ өрнек 1.10:

$$C = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} p(y|1) \log_2 \frac{p(y|1)}{p(y)} dy + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} p(y|-1) \log_2 \frac{p(y|-1)}{p(y)} dy \quad (1.12)$$

$$\text{мұндар } p(y) = \frac{1}{2} [p(y|1) + p(y|-1)]$$

АБГШ каналының өткізу қабілеттілігінің ықтималдылығы p және ықтимал байланыс арнасындағы E_s/N_0 сигналдан шуыл қатынасы бойынша екі ықтимал кірістері бар графиктер 1.4 және 1.5 суретте көрсетілген. АБГШ бар ЕСА каналынан бірдей жолақ ені шамамен 2 дБ кем сигнал-шу қатынасына жетеді, бұл демодулятордың жұмсақ шешімдерін пайдаланудың маңызды артықшылығын көрсетеді.

Q-лық симметриялық арнасы үшін өткізу қабілеті келесідей есептеледі:

$$C = \frac{1}{q} \sum_{j=0}^{q-1} \sum_{i=0}^{q-1} P(y_i|x_j) \log \left[\frac{P(y_i|x_j)}{P(y_i)} \right] \quad (1.13)$$

мұнда $P(y_i|x_j)$ 1.5 формуласы бойынша есептеледі, және

$$P(y_i) = \sum_{j=0}^{q-1} P(x_j) P(y_i|x_j) = \frac{1}{q}$$

1.6 және 1.7 суреттерде символдық P_q қателігі және E_s/N_0 сигнал-шу қатынасы ықтималдылығына арналған өткізу жолындағы qCK схемалары ұсынылған.

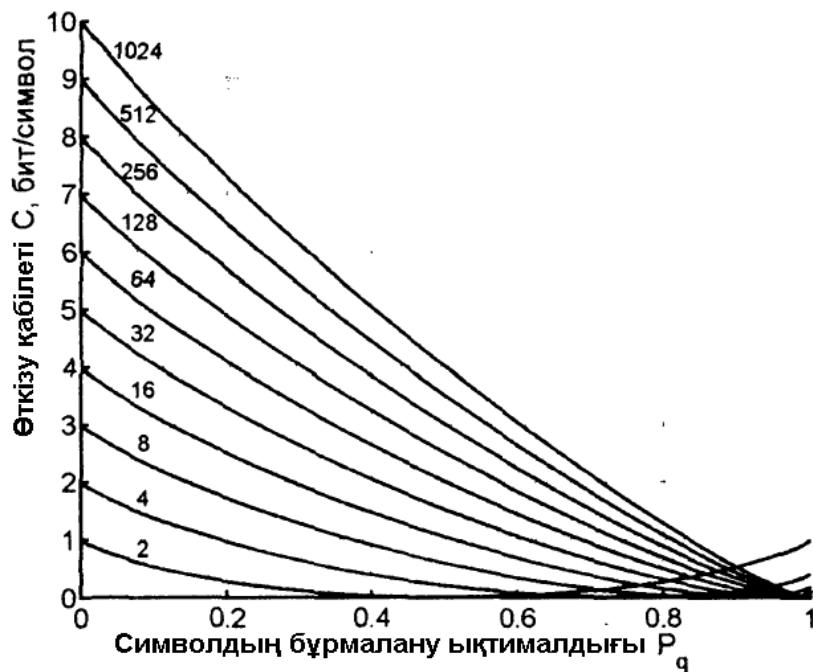
Тағы бір маңызды арна сипаттамасы (әсіресе дәйекті декодтау әдістері үшін) кездейсоқ кодтау шекарасын анықтау кезінде пайдаланылатын есептеу жылдамдығы - R_0 (басқаша экспоненциалды шекаралық параметр деп аталады).

$$\bar{P}_s < 2^{-(R_0-R)} \quad (1.14)$$

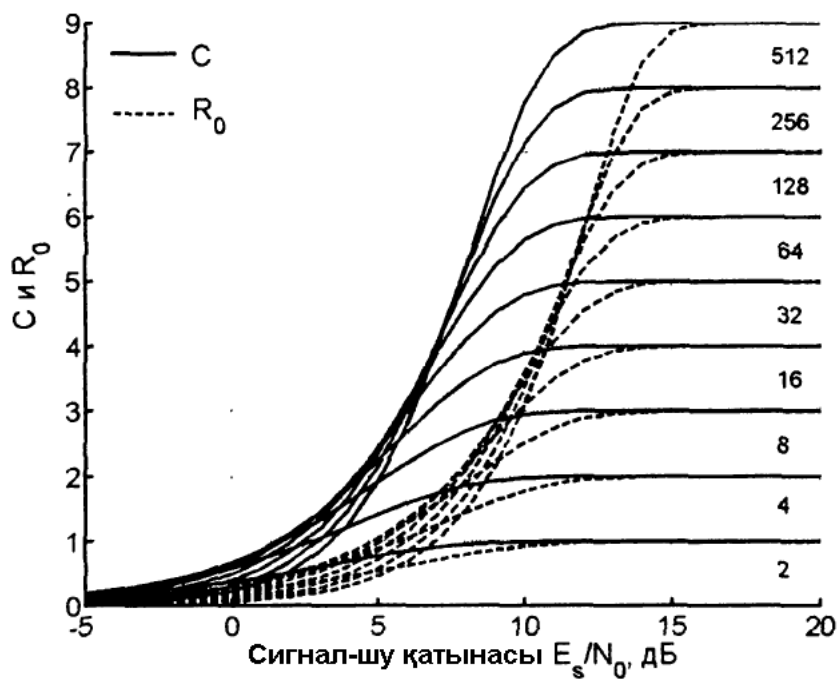
егер жеткілікті ұзын кодтарды пайдалансақ, R кодтық жылдамдығы R_0 есептеу жылдамдығынан аз болса, жеткілікті ұзын кодты пайдаланған кезде барлық ықтимал кодтар үшін $\bar{P}_s$ қателігінің орташа ықтималдығы еркін түрде жасалуы мүмкін екендігін көрсетеді.

ДЖА үшін есептеу жылдамдығы төмендегідей есептеледі:

$$R_0 = \max_{\{P(x_j)\}} \left\{ -\log_2 \sum_{i=0}^{Q-1} \left[\sum_{j=0}^{q-1} P(x_j) \sqrt{P(y_i|x_j)} \right]^2 \right\} \quad (1.15)$$



1.6 сурет - 2-ден 1024 аралығындағы q ортогоналды сигналдарымен q -лық арнасының өткізу қабілеті



1.7 сурет - 2-ден 512-ге дейінгі ортогоналды сигналдармен q -лық арнасының өткізу қабілеттілігі

ЕСА-да жұмыс істегенде, 1.15-өрнегі форманы қабылдайды

$$R_0 = -\log_2 \left(\frac{1}{2} [\sqrt{1-p} + \sqrt{p}]^2 \right) \quad (1.16)$$

АБГШ және екілік кірістері бар арна үшін есептеу жылдамдығын анықтау үшін өрнек мынадай:

$$R_0 = 1 - \log_2 (1 + e^{-E_s/N_0}) \quad (1.17)$$

Ортогоналды сигналдармен және демодулятордың қатаң шешімімен бірге qСК үшін есептеу жылдамдығы тең

$$R_0 = -\log_2 \left(\frac{1}{q} [\sqrt{1-P_q} + \sqrt{P_q(q-1)}]^2 \right) \quad (1.18)$$

Жоғарыда сипатталған коммуникациялық арна үлгілері үшін есептеу жылдамдығының графиктері R_0 қисықтары бойынша 1.4, 1.5 және 1.7 суреттерде ұсынылған.

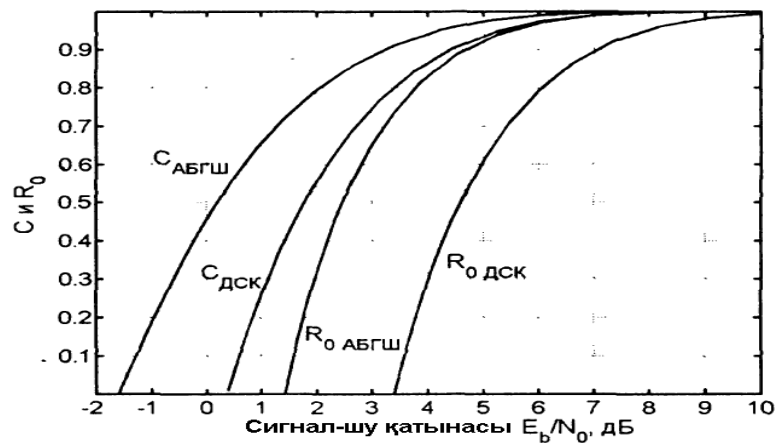
Әрбір ақпарат битінің (бұдан әрі әр битке сигнал-шу қатынасы деп аталатын) сигналдан шуылға қатынасы бойынша C арна каналының өткізу қабілеттілігінен және R_0 есептеу жылдамдығының тәуелділігін алу үшін пайдалы, ол ақпараттық таңба туралы энергияның спектрлік шу күші E_b/N_0 қатынасына тең. Мұны істеу үшін алдымен $N/2$ -ге бөлу арқылы $C(E_s/N_0)$ тәуелділігін қалыпқа келтіру керек (бұл жерде таңбаларды беру үшін пайдаланылатын N -өлшемі)

$$C = \frac{C(E_s/N_0)}{N/2} \quad (1.19)$$

содан кейін C бойынша тиісті E_s/N_0 мәнін есептейміз

$$E_b/N_0 = C E_s/N_0$$

Сол сияқты, есептік жылдамдықтың R_0 сигналдан шуылға қатынасына E_b/N_0 битіне тәуелділігін аламыз. Мысалы, 1.8-суретте $C(E_b/N_0)$ және $R_0(E_b/N_0)$ ЕСА және АБГШ арналары бар графиктер көрсетілген.

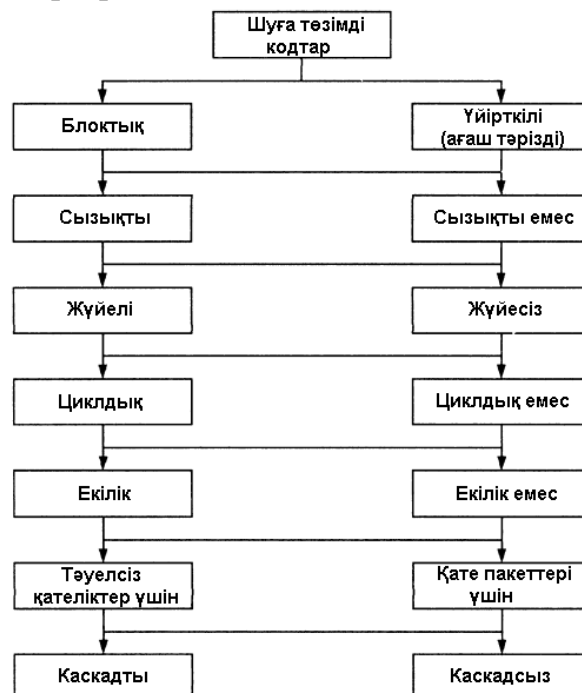


1.8 сурет - C арнасының өткізу қабілеттілігі және есептеу жылдамдығы R_0 -дің сигнал-шу қатынасы бойынша E_b/N_0 тәуелділігі

1.4 Бөгеуілге төзімді кодтар

Бүгінгі күні құрылымдық, функционалдылықта, энергия тиімділігінде, шифрлау және декодтау алгоритмдерінде және басқа да көптеген параметрлерде бір-бірінен ерекшеленетін шуылға төзімді кодтардың көптеген түрлері бар. 1.9 суретте келтірілген осы кодтарды жіктеудің негізгі тәсілдерін қарастырайық.

Кодтарды екі топқа бөлуге болады: блоктық [19], кодтау және декодтау код комбинациясында немесе блокта орындалатын және таңбаны өңдеу үздіксіз орындалатын топ бойынша [18].



1.9 сурет –Бөгеуілге төзімді кодтар классификациясы

2 Блокты сызықты кодтардың кодтау және декодтау әдістері мен алгоритмдері

2.1 Сызықты кодтар $d=4$. Бұл кодтар бір, екі және үш қателерді табуы немесе екі және бір қателерді түзетуі мүмкін

1.Бақылау таңбаларының санын таңдау. Бұл кодтағы бақылау символдарының саны $d = 3$ кодына қарағанда бірлікке көп болуы тиіс:

$$m_{d=4} = m_{d=3} + 1 \quad (2.1)$$

$m_a = 3$ табу үшін

$$m = E^n \log(r + 1) + E^n \log_2(r + 1) \quad (2.2)$$

теңдеуді қолдануға болады. Егер бақылау таңбаларының саны Хэмминг кодында анықталса, онда теңдеу

$$m = E^n \log_2[(n+1)] \quad (2.3)$$

түрді қабылдайды:

$$m_{d=4} = 1 + \log_2(n+1) \quad (2.4)$$

2.Құрастырушыны таңдау көп. $P(X)_{d=4}$ көпмүшеннің туындысына тең $(X+1)$ көпмүше $P(X)_{d=3}$

$$P(X)_{d=4} = (X+1)P(X)_{d=3} \quad (2.5)$$

Бұл екі оқылған $(X+1)$ барлық жалғыз және үш есе қателерді, ал көп оқылған $P(X)$ — екі есе қателерді анықтауға мүмкіндік береді. Осылайша, барлық үш есе қателерді анықтайтын код $(7,3)$ үшін таңдауға болады $P(X)_{d=4} = (X+1)(X^3+X+1)$

Жалпы жағдайда $P(X)_{d=4}$ дәрежесі көп мақсатты m санына тең.

3.4-мысал. 10101010101010 хабарламаны $d = 4$ циклдік кодпен кодтау қажет:

$$G(X) \rightarrow 10101010101010 \rightarrow X^{13} + X^{11} + X^9 + X^7 + X^5 + X^3 + X \quad (2.6)$$

Теңдеу бойынша бақылау символдарының санын анықтаймыз :

$$m = E^n \log(r + 1) + E^n \log_2(r + 1) \quad (2.7)$$

$$m = E^n \log_2[(14+1) + \log_2(14+1)] = E^n \log_2(15+4) = 5$$

$$m = E'' \log_2[(n+1)] \quad (2.8)$$

теңдеуден $m_{d=4} = 5+1 = 6$.

$d = 3$ үшін көпмақсатты құрастырушы таңдаймыз. $P(X)_{d=3} = X^5 + X^2 + 1$ болсын. Сонда,

$$P(X)_{d=4} = (X+1)(X^5 + X^2 + 1) = X^6 + X^5 + X^3 + X^2 + X + 1 \quad (2.8)$$

Тек бір $G(X)$ хабарын кодтау қажет болғандықтан. $k=14$ екілік кодтардың барлық ансамблі емес, одан әрі

$$F(X) = Q(X)P(X) = X^m G(X) + R(X) \quad (2.9)$$

теңдеу бойынша орындалатын кодтау процедурасын ұстанамыз. Біз $X^m = X^6$ бір бөлігін таңдаймыз. Сонда,

$$X^m G(X) = X^{19} + X^{17} + X^{15} + X^{13} + X^{11} + X^9 + X^7 \rightarrow 10101010101010000000$$

Алынған өрнекті $P(X)_{d=4}$ -ке бөлу. қалдық табамыз:

$$R(X) = X^4 + X^3 + X^2 + X + 1 \rightarrow 011111$$

Демек, берілетін кодталған комбинация түрі болады

$$F(X) = (X^{19} + X^{17} + X^{15} + X^{13} + X^{11} + X^9 + X^7) + (X^4 + X^3 + X^2 + X + 1)$$

$$\rightarrow 10101010101010011111$$

$$\underbrace{\hspace{15em}}_{\text{Ақпараттық жүйелері} \quad \text{Басқару жүйелері}}$$

2.2 Циклдық кодтарды декодтау

Қатені анықтау Бекітілген циклдік кодтағы қателерді анықтау идеясы қателіктер болмаған жағдайда, кодталған комбинациясы $F(X)$ қалдықтарсыз полиномиальді $P(X)$ генераторына бөлінеді. Бұл жағдайда басқару белгілері жойылады, ал ақпараттық таңбалар k олардың мақсаттары үшін қолданылады. Егер алынған комбинацияның бұрмалануы болса, онда $F(X)$ комбинациясы екі полиномның қосындысы ретінде ұсынылуы мүмкін $H(X)$ комбинациясына айналады:

$$H(X) = F(X) + E(X), \quad (2.10)$$

мұнда, $E(X)$ - бұл көптеген бірліктерді қамтитын қате полиномы, бұл кезде қабылданған комбинациядағы элементтер сәйкес келмейді берілген комбинацияның элементтері. Мысалы, $P(X) = 1011$ -ге кодталған, $F(X) = 1101001$ кодының комбинациясы берілсін. Егер дұрыс қабылданса, онда $P(X)$ бөлімі қалған нөлге тең болады. Егер комбинация $H(X) = 7101011$ ретінде

қабылданса, $P(X)$ бөлгенде 010 қалдықтары пайда болады, бұл қатені көрсетеді және қабылданған тіркесім қабылданбайды. Қателерді анықтау және түзету. Циклдық кодтарды декодтаудың бірнеше нұсқалары бар.

Олардың бірі мынадай:

1. Қалдықтың есебі (синдром). Сондай-ақ, қателерді анықтайтын кодтарда қабылданған комбинация генераторлық полином $P(X)$ деп бөлінген. Қалған $R(X) = 0$ комбинация қателесіз қабылданғанын білдіреді. Қалдықтың болуы комбинацияның бұрмаланғанын білдіреді. Бұдан әрі қателерді түзету жалғасады.

2. В қалдықтарының салмағын есептеу. Егер қалдықтың салмағы түзетілген қателер санына тең немесе одан аз болса, яғни $W < S$ болса, онда қабылданған тіркесім қалған бөлігіне модуль 2 қосылады және түзетілген комбинация алынады.

3. Сол жаққа бір циклді жылжу. $W > s$ болса, онда бір символдың солға қарай циклдік жылжуын жасаңыз, ал нәтижесінде пайда болатын комбинация генерациялайтын многоэминге бөлінеді.

Егер алынған қалдық $W < S$ салмағын, онда циклдік ауысатын комбинация қалдыққа қосылады, содан кейін оңға қарай циклдік түрде бір таңба бойынша (бастапқы орнына оралу) циклдік түрде ауысады. Нәтиже - түзетілген тіркесім.

4. Солға қарай қосымша циклдық жылжулар.

Егер бір символ бойынша циклдік ығысу әлі де $W > s$ болса, онда солға қосымша циклдік ығысулар жасаңыз. Бұл жағдайда әрбір ауысымнан кейін ауыстырылған комбинация $P(X)$ -ге бөлінеді және қалдықтың салмағы тексеріледі. $W < s$ кезде, олар 3-бөлімде көрсетілген әрекеттерді орындайды, сол арқылы олар кері циклдік оңға қарай солға қарай өзгереді.

Мысалы 1101110 коды қабылданып, генерациялайтын көпфункционалды $P(X) = 1011$ с = л болатын кодталады. Қатені тексеріңіз және табылса, түзетіңіз. 1101110 комбинациясын 1011-ке бөлеміз және қалған $R(X)$ 111 екенін білеміз. Бұл $W = s$ теңдігін қанағаттандырмағандықтан, біз 1101110 комбинациясын сол жаққа бір айналдыра айналдыра аламыз. Біз 1011101 аламыз. Бұл комбинацияны $P(X)$ арқылы бөлу нәтижесінде қалған $R_j(X) = 101$ табамыз. Бұл қалдықтың салмағы екі, яғни с. Сол жаққа жаңа циклдық жылжуды жүзеге асырамыз. Біз 0111011 аламыз. $P(X)$ бойынша бөліну қалған $R_2(X) = 00$, ал салмағы s бар. Қосыңыз: $0111011 \oplus 001 = 0111010$. Енді біз соңғы комбинацияның екі циклдік ығысуын оң жаққа қарай жүргіземіз: біріншіден кейін ол 0011101 форматын алады, екіншіден 1001110, яғни Дәл қазір түзетілген комбинация көрінеді. Тексеру бұл комбинацияның $P(X)$ қалдықтарына бөлінбейтінін көрсетеді.

2.3 БЧХ кодының кодталу әдістері

$d \geq 5$ көмегімен циклді кодтар

Бұл кодтар Боуз, Чоудхори және Хоквинхеммен әзірленген (БЧХ қысқартылған кодтары) қателердің кез келген санын анықтауға және түзетуге мүмкіндік береді. Кодтау кезінде берілген шамалар түзетілуі керек s қателерінің саны және сызыққа жіберілетін символдардың жалпы саны, яғни n сөзінің ұзындығы болып табылады. Ақпараттық символдардың (k) және бақылау символдарының (m) саны, сондай-ақ бақылау символдарының құрамы анықталуы тиіс.

Кодтау әдістемесі мынадай:

1. Сөздің ұзындығын таңдау. БЧХ әдісі бойынша кодтау кезінде n сөзінің ұзындығын еркін таңдауға болмайды. Бірінші шектеу-бұл сөз тек тақ таңбалар саны болуы мүмкін. Алайда, тіпті барлық тақ сандар сөздің ұзындығын құрауы мүмкін. Мұнда екі жағдай болуы мүмкін. Берілген n бойынша $2^h - 1 = n$ теңдігін қанағаттандыру үшін h санын табуға болатын бірінші жағдай. Мысалы, $n=7$ болғанда $h=3$, $n=15$ болғанда $h=4$, $n=31$ болғанда $h=5$, $n=63$ болғанда $h=6$ және т.б.

$$\frac{2^h - 1}{g} = n \quad (2.11)$$

теңдікті қанағаттандыру үшін h санын табатын екінші жағдай.

$2^h - 1$ факторларына ыдырау кезінде келесі n және g сандарды аламыз:

$$7 = 2^3 - 1 = 7$$

$$15 = 2^4 - 1 = 5 \times 3$$

$$31 = 2^5 - 1 = 31$$

$$63 = 2^6 - 1 = 7 \times 3 \times 3 = 21 \times 3$$

$$127 = 2^7 - 1 = 127$$

$$255 = 2^8 - 1 = 17 \times 5 \times 3$$

$$511 = 2^9 - 1 = 73 \times 7$$

$$1023 = 2^{10} - 1 = 31 \times 11 \times 3$$

$$2047 = 2^{11} - 1 = 89 \times 23$$

$$4095 = 2^{12} - 1 = 3 \times 3 \times 5 \times 7 \times 13$$

Мәселен, төртінші жолдан $h=6$ кезінде сөздің ұзындығы тек 63 (бірінші жағдай) ғана емес, 21 ($g=3$) те болуы мүмкін.

2. d кодтық қашықтықты анықтау (2.11), яғни $d=2s+1$ сәйкес жүргізіледі.

3. $P(X)$ Көпмүшелерді құруды анықтау. $M_i(X)$ ең аз көпмүшелер $2s-1$ -ге дейінгі, ең аз жалпы еселік (НОК) құра алады. Және көп бөлігі тақ ең аз көпмүшелердің кейбір санынан жасалады

$$P(X) = \text{НОК}[M_1(X)M_3(X) \dots M_{2s-1}(X)] \dots (2.12)$$

Ең кіші көпмүшелер қарапайым келмейтін көпмүшелілер болып табылады, және анықтамалар әдісі келесіде берілген [Л. 26.]. Айта кетейік, егер

ең төменгі көпмүшелілердің арасында екі бірдей болса, олардың біреуі алынып тасталады .

2.1 Кесте - Әр түрлі дәрежелердің ең төменгі көпмүшелері

ls	2	3	4	5	6	7	8	9
1	111	1011	10011	100101	1000011	10001001	100011101	1000010001
3		1101	11111	111101	1010111	10001111	101110111	1001011001
5			111	110111	1100111	10011101	111110011	1100110001
7			11001	101111	1001001	11110111	101101001	1010011001
9				110111	1101	10111111	110111101	1100010011
11				111011	1101101	11010101	111100111	1000101101
13						10000011	100101011	1001110111

4. Ең аз көпмүшелердің санын анықтау (L). (2.12) теңдеуден ең аз көпмүшелердің тәртібі $2s-1$ ретінде анықталады. Егер бұл құраушы тек тақ ең аз көпмүшелерден тұратынын ескерсек, онда олардың саны жай ғана анықталады. Мысалы, егер $s=3$ болса, онда $2s-1=5$ болады. Бұл дегеніміз (2.12) теңдеуде $M_1(X)$, $M_3(X)$, және $M_5(X)$, яғни $L=3$ көпмүшелері жазылатын болады. Егер, мысалы, $s=8$ болса, онда $2s-1=15$ болады, яғни $M_1(X)$, $M_3(X)$, $M_5(X)$, $M_7(X)$, $M_9(X)$, $M_{11}(X)$, $M_{13}(X)$, $M_{15}(X)$ ең аз көпмүшелер қолданылады, яғни $L=8$. Осылайша, ең аз көпмүшелер саны түзетілетін қателер санына тең, яғни

$$L=s. \quad (2.13)$$

5. Жоғары деңгейде l ең аз көпмүшелерді анықтау. l дәрежесінде бағытталғаносындай ең аз бүтін сан бар, $2^l - 1$ n немесе nc -ге бөлінеді, яғни $n = 2^l - 1$ немесе $2^l - 1 = nc$ -ге. Бұл дегеніміз,

$$l = h. \quad (2.14)$$

6. Ең төменгі көпмүшелерді таңдау. Ең аз көпмүшелер саны L және үлкендер дәрежесі l анықталғанда, көпмүшелер 3-17 кестеден жазылады. Сонымен қатар, НОК тек бір жоғары дәрежелі l көпмүшелерден жасалуы мүмкін. Бұл, атап айтқанда, төртінші және алтыншы дәреженің көптүрлілігі үшін орын алады.

7. $P^B(X)$ құрайтын β дәрежесін анықтау. Көпмүшелерді құрайтын дәреже ls немесе lL туындыларынан аспайды, өйткені $L=s$. НОК байланысты $P(X)$ дәрежесі $\beta \leq ls$ кем болуы мүмкін. Барлық ең төменгі көпмүшелерді тапқаннан кейін көпмүше түзуші (2.12) теңдеу бойынша анықталады.

8. Бақылау символдарының санын анықтау. m бақылау символдарының саны бірақ, көпмүшелерді құрайтын дәрежеге тең болғандықтан, n ұзындық кодында болады:

$$\beta = m \leq ls. \quad (2.15)$$

9. Ақпараттық символдар санын анықтау $k = n - m$ теңдіктен әдеттегі тәртіппен жүргізіледі. Кодтаудың келесі кезеңдері жоғарыда қарастырылған $d < 4$ циклдық кодтарға ұқсас, яғни қосымша матрица болады, барлық кодтық комбинациялар есептелетін матрицаны құрайтын матрицалардан жасалады.

Мысал . Жалпы ұзындығы $n = 15$ болатындай, әдеттегі екілік кодтың барлық комбинацияларын циклдық кодтауда жүргізу. Код барлық бір және екі қателерді түзетуі керек, яғни $s = 2$. Кодтық қашықтық $d = 2s + 1 = 5$ -ге сәйкес. (2.13) $L = s = 2$ сәйкес ең аз көпмүшелер саны. Ең төменгі дәреже (2.14) $15 = 2^4 - 1$, яғни $l = 4$ сәйкес. Ең төменгі көпсағандар 3-17 кестеден жазылады:

$$M_1(X) = 10011 = X^4 + X + 1;$$

$$M_3(X) = 11111 = X^4 + X^3 + X^2 + X + 1.$$

Құратын көпмүшелер (3-27) сәйкес анықталады:

$$P(X^8) = (X^4 + X + 1)(X^4 + X^3 + X^2 + X + 1) = X^8 + X^7 + X^6 + X^4 + 1. \quad (2.16)$$

Бақылау символдарының саны көпмүшелерді құрайтын дәрежеге тең, яғни $m = 8$. Ақпараттық символдар саны $k = 15 - 8 = 7$.

БЧХ $s = 2$ мен циклдық код матрицасының түрі болады (пунктирлік желінің мақсаты төменде түсіндіріледі):

			k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	m_8	m_7	m_6	m_5	m_4	m_3	m_2	m_1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1		
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1		
0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0		
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0		
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0		

(2.17)

Бірлік транспондалған матрица (k -символдар) Матрица толықтырулар (m -символдар)

Мысал 3-5. Берілген : $n = 15$, $s = 3$. Ескерту $d = 2 \cdot 3 + 1$ деп есептейміз. Ең аз көпмүшелер саны $L = s = 3$. Ең үлкен дәрежесі $L = 4$. (2.9) кестеден үш ең аз көпмүшені жазамыз және (2.12) қоямыз. $M_1(X)$ және $M_3(X)$ алдыңғы мысалдағы сияқты көпмүшелер. M_5 көп бөлігі екінші дәрежелі, яғни $M_5 \rightarrow 111 \rightarrow X^2 + X + 1$. Бұл дегеніміз, бұл көпмүшелі, яғни көпмүшелі туындысы

$P(X)=M_1(X)M_3(X)M_5(X) = X^{10} + X^8 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$, (2.18)
 оныншы дәрежелі болады. Бұл дегеніміз, $m=10, ls=4*3=12$ қарағанда аз.
 Бақылау символдарының саны $k=15-10=5$. БЧХ коды алынды (15-5).

2.4 Хэмминг коды

Ең көп тараған жүйелі сызықтық блоктық код - Хэмминг коды. Бұл бір реттік қателерді түзетуге қабілетті $d_{\min}=3$ ең аз код қашықтығы бар кодтарды қамтиды. Код сөзі байланыс арнасы арқылы берілсе, оның кез-келген элементтерінде бір реттік қате орын алуы мүмкін. Осындай жағдайлардың саны $C_n^1 = n$. Осылайша, қатенің орналасқан жерін анықтау үшін сынақ элементтерінің комбинацияларының саны 2^r кодтағы қате жағдайлардың санынан және қате болмаған жағдайдан асуы керек, яғни мына теңсіздік орындалуы керек

$$2^r \geq n + 1 \quad (2.19)$$

Осы теңсіздіктен қателерді түзету үшін қажетті тест пен ақпараттық бит ең аз ара-қатынасы туындайды.

$$2^r - 1 = n \quad (2.20)$$

Хэмминг кодының негізгі параметрлерін есептеу үшін r элементтерінің санын белгілеп аламыз, содан кейін код сөзінің ұзындығы $n \leq 2^r - 1$ және ақпараттық элементтер саны $k=n-r$ болады. r , n және k арасындағы қатынастар А1 кестесімен анықталады.

2.2 Кесте-А1

Коэффициенттер	Мәндер															
K	1	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	12
N	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6
R	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

$d_{\min}=3$ коды бар тексеру матрицасының ерекшелігі оның бағандарының ұзындығы r -дың әр түрлі нөлдік комбинациялары болып табылады. Хэмминг матрицаның i -ші бағаны мен код комбинациясының цифрлары i санының екілік көрінісіне сәйкес болу үшін $H_{(n-k) \times n}$ тексеру матрицасының бағандарын орналастыруды ұсынды. Содан кейін бір рет қателік түзету синдромы қате орын алған санының екілік көрінісі болады. Ол үшін тексеру биті сөздің оң жағында емес, номерлері екінің дәрежелері болатын позицияларда орналасуы керек $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^{r-1}$. Мысалы, $r=3$ үшін Хэмминг кодының тексеру матрицасы:

$$H_{3 \times 7} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

Берілген сызықтық блок үшін $(n, k) = (4, 7)$ коды, бірінші, екінші, төртінші разрядтар (u_1, u_2, u_4) тексерілетін, ал үшінші, бесінші, алтыншы және жетінші разрядтар (u_3, u_5, u_6, u_7) - хабарламаның кодтары сияқты хабардың таңбалары бірдей ретпен болады, тиісінше $(m_1 m_2 m_3 m_4)$. Осылайша, әр код жазудағы (k, n) – Хэмминг коды үшін $u = (u_1, u_2, u_3, u_4, \dots, u_8, \dots, u_n)$, $r = n - k$ 2 дәрежелі сандары бар биттер тексеру болып, ал қалғандары – хабарламалар биттері болып табылады. Кодтау келесі түрде жүзеге асырылады

$$E(m_1, m_2, \dots, m_k) = (u_1, u_2, \dots, u_n) = (r_1, r_2, m_1, r_3, m_2, m_3, m_4, r_4, m_5, m_6, \dots, m_k) \quad (2.22)$$

(k, n) - Хэмминг кодының тексеру матрицасы $n = 2^r - 1$ жолдар мен бағандардан тұрады, r - i санының екілік комбинациясы, мұнда i - жолдың нөмірі. Мысалы, $r = 2, 3, 4$ үшін Хэмминг кодын тексеру матрицалары болып табылады

$$H_{2 \times 3} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, H_{3 \times 7} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$H_{4 \times 15} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

Кодты тексеру теңдеуі жүйесін анықтайтын синдром $u \times H^T = 0$ қатынасынан табылады. Мысалы, $r = 3$ үшін теңдеулер жүйесі келесідей болады:

$$\begin{cases} \underline{u_4} + u_5 + u_6 + u_7 = 0, \\ \underline{u_2} + u_3 + u_6 + u_7 = 0, \\ \underline{u_1} + u_3 + u_5 + u_7 = 0. \end{cases} \quad (2.24)$$

Бұдан тексеру разряды (жинақталымдар) табылады:

$$\begin{cases} r_1 = u_1 = u_3 + u_5 + u_7 = m_1 + m_2 + m_4, \\ r_2 = u_2 = u_3 + u_6 + u_7 = m_1 + m_3 + m_4, \\ r_3 = u_4 = u_3 + u_5 + u_7 = m_2 + m_3 + m_4. \end{cases} \quad (2.25)$$

3 Бөгеуілге төзімді кодтарды Matlab Simulink бағдарламасы арқылы моделдеу

3.1 Matlab Simulink бағдарламасының мүмкіндіктері

MatLab жүйесі инженерлік еспетерді есептеуге арналған пакет. Бұл пакет қазіргі заманғы инженерлі және ғылыми математикалық аппаратына жақын, онда матрицалармен, векторлармен және комплексті сандармен жұмыс істеуге болады.

MatLab жүйесінің бірінші версиясы 70-жылдың соңында Нью-Мексико және Станфорд университетінде жазылған. Бұл жүйе матрица теориясы, сызықты алгебра және санды талдау курстарын оқытуға арналған жүйе болатын. MatLab жүйесі FORTRAN, C және C++ бағдарламаларында жазылған функцияларды қабылдай алады.

MatLab жүйесінің бағдарламалау тілі өте қарапайым, ол бірнеше операторлардан тұрады. Көп процедураларымен функциялары бар және оларды қолданып қана қоймай, оларды модификациялауға болады.

Қазіргі замандағы MatLab жүйесі – ол инженерлік және ғылыми есептеулерде жоғарғы тиімді тіл болып табылады. Онда математикалық есептерді есептеу, ғылыми графиканың визуализациясын алуға және бағдарламалау мүмкіндіктері бар.

MatLab жүйесінің негізгі объектісі – ол тік бұрышты массив саны (матрица). Матрицада комплексті элементтерді қолдануға болады.

MatLab жүйесі екі негізгі режимде жұмыс істей алады:

- ғылыми калькулятор;
- программалық режим.

MatLab-ты қосқаннан соң 3.1-суретте көрсетілген негізгі терезесі ашылады.

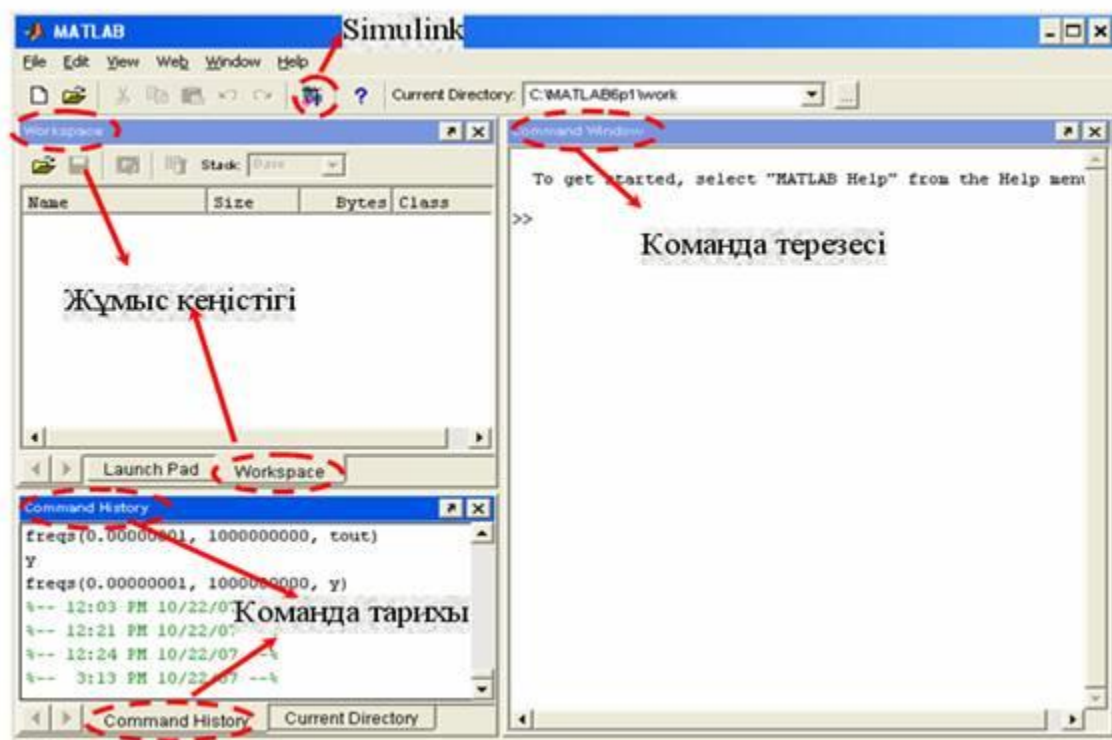
Онда бірнеше терезелер көрсетіледі, оның негізісі **Команда терезесі** (Command Window). MatLab жүйесінің командаларын қабылдауға дайын екенін, команда жолындағы ">>" белгі арқылы білуге болады.

Ғылыми калькулятор режимінде жұмыс істеу үшін **Команда терезесі** қолданылады.

MatLab жүйесінде программалауы өзінің М-тілі атты бағдарламалық тілінде орындалады. Программалар **Редактор М-файлов** атты редакторында жазылады және олар М-файл деп аталады. Оларға ***.m** кеңейтілуі беріледі.

MatLab жүйесінің негізгі ұғымына – Жұмыс кеңістік (Рабочее пространство) ұғымы жатады.

Жұмыс кеңістігі – MatLab бағдарламада қолданылатын айнымалылар сақталынатын жад аймағы. Ол арқылы MatLab жүйесінің түрлі компоненттер арасында мәліметтерді алмастыруға болады.



3.1 - сурет – MatLab жүйесінің негізгі терезесі

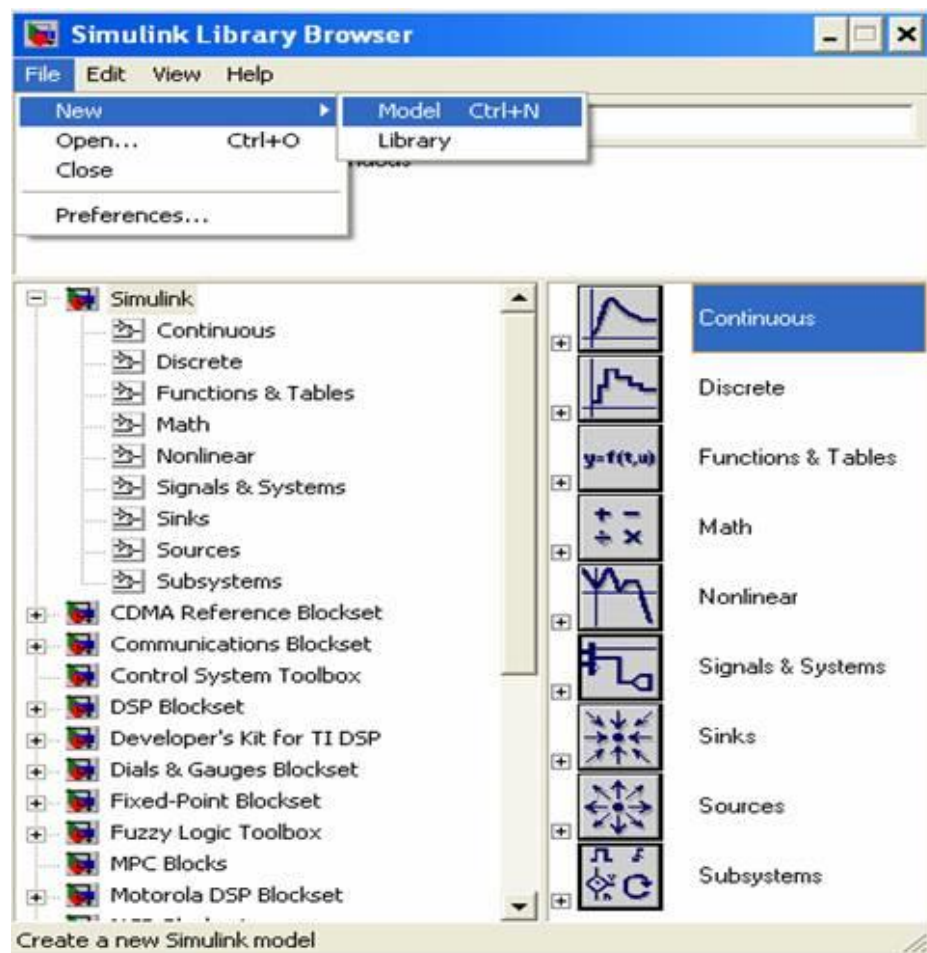
Simulink – динамикалық жүйелерді визуалды модельдеуге арналған пакет

Simulink динамикалық сызықты және сызықты емес жүйелердің (уақыт арқылы модельдеу) тәртіптерін зерттеуге арналған пакет.

Программаны құру және жүйенің, экранда элементтердің байланыстарын сұлба арқылы құрып, олардың сипаттамаларын диалог режимінде енгізуге болады. Құру нәтижесінде жүйенің моделі жасалады (оларды S-модель деп атайды) және оларға ***.mdl** кеңейтілуі беріледі. Бұндай есептеу бағдарламасының құруын **визуалды бағдарламалау** деп атайды.

Simulink бағдарламасымен жұмыс істеу үшін MatLab командалық терезесі арқылы шығуға болады. Ол үшін саймандар тақтасында арнайы батырмасын басу қажет. Нәтижесінде 3.2-суретте көрсетілген **Simulink Library Browser** (Браузер библиотек Simulink) терезесі пайда болады.

Терезенің сол жақ бөлігінде Simulink құрамына кіретін кітапханасының тізімі көрсетілген, терезенің оң жақ бөлігінде таңдалған кітапханасының тарауы немесе тараудың блок бейнелері көрсетіледі. Simulink пакетінің ядросы ол Simulink кітапханасы.



3.2 - сурет – SimulinkLibraryBrowser терезесі

Модельдеу жүйесінің блок-схемасын құру үшін Simulink браузер терезесінде **File/New/Model** (Файл/Новый/Модель) командасын алу керек. Нәтижесінде S-модель құрылатын 3.3-суретінде көрсетілген терезе пайда болады.



3.3 - сурет – Модельдің терезесі

Терезе меню жолынан, саймандар тақтасынан және жұмыс аймағынан тұрады.

Меню **File** (Файл) - MDL-файлдармен жұмыс істейтін командаларынан тұрады.

Меню **Edit** (Правка) – блок-схемаларды өзгерту командаларыныңтан тұрады.

Меню **View** (Вид) –сыртқы терезенің түрін өзгерту командаларыныңтан тұрады.

Меню **Simulation** (Моделирование) – модельдеу процесін басқаратын командаларынан тұрады.

меню **Format** (Формат) – жеке блоктарының және жалпы блок-схемасының сыртқы түрін өзгерту командаларынан тұрады.

Меню **Tools** (Инструменты) – S-модельдермен жұмыс істейтін қосымша сервисты құралдары бар.

Блок-схемалар кітапханасының тарауында белгіленген блокты модель терезесіне тарту арқыры құрылады. Содан соң, блоктардың шығыстары келесі блоктардың кірістеріне созу арқылы жалғастырылады. Егер қосу дұрыс болса, онда блоктың кірісінде қара стрелка пайда болады.

Кез келген блок-схемасы сигналды генерациялайтын, бір немесе бірнеше блок-көздерінен және жүйенің шығыс сигналдары туралы ақпараты алатан бір немесе бірнеше блок-қабылдағыштардан тұру керек.

Simulink пакетінің көпшілік кітапханасынан біз келесі кітапханаларын қолданамыз: Simulink, NCD Blockset және SimPower Systems [9].

***Simulink* кітапхана блоктарының жалпы сипаттамалары**

Sinks (приёмники) тарауы – осы блоктар арқылы модельдеуді өткізген кездегі визуалды нәтижелерін алуға болады және блоктардың дұрыс істеу жұмысын тексеру үшін арналған. Осы блоктардың шығыстары жоқ, тек кірістері бар және олар 3 топқа бөлінеді:

- 1) Data Viewers – шолу терезесінің ролін орындайды;
- 2) Model & Subsystems Outputs – нәтижелерін сақтауға және жіберуге арналған блоктар;
- 3) Stop Simulation – кіріске нөл емес сигнал берілген кездегі, модельдеуді тоқтататын басқару блогы.

Sources (источники) тарауы – S-моделдің немесе оның бөлек бөлшектерінің жұмыс істеуіне қамтамасыз ететін, сигналдарды түрлендіретін блоктардан тұрады. Осы блоктарда кірістері жоқ, тек бір шығыстары бар. Осы тарауда 2 топ блоктары бар:

1. Model & Subsystem Inputs - S-моделге немесе Simulink жүйелі бөлшектерден, басқа модельдерден, жұмыс кеңістіктерінен немесе M-файлдардан келген сигналдардың кірісін қамтамасыз етеді;

2. Signal Generators – шығыс шамасын берілген уақыт функция ретінде формалайды. Яғни берілген типті сигналдардың генераторы ретінде қарастыруға болады.

Осы кітапханасында уақыт сигналын генерациялайтын Clock (Часы) блогінан басқа, барлық блоктарының параметрлерін өзгертуге болады.

Continuous (непрерывные) тарауы – тұрақты коэффициенттері бар сызықты дифференциалды теңдеулермен сипатталатын блоктарынан тұрады. Олар 3 топқа бөлінеді:

1) жалпы тағайындалатын блоктары (интеграторлар, туынды алатын блок);

2) сигналдарды ұстау блоктары;

3) сызықты стационарлы буынды блоктары.

Discrete (дискретные) тарауы – дискретті уақыт жүйелерінің тәртібін сипаттайтын блоктардан тұрады, сонымен қоса үздіксіз жүйелерді дискреттіге түрлендіретін блоктары бар.

Math (математические операции) тарауы – MatLab жүйесінің математикалық функцияларынан тұратын блоктар. Олар 4 топқа бөлінеді:

1) Math Operation – кіріс шамаларын математикалық түрлендіру блоктарынан тұрады (сумматор, күшейткіш, көбейткіш/бөлгіш), сонымен қоса математикалық стандартты блоктар.

2) Vector Operations – векторлық операцияларды орындайтын блоктар.

3) Complex Vector Conversions – векторлық комплексты шамаларды түрлендіретін блоктар.

Nonlinear (нелинейные) тарауы – кейбір сызықты емес кіріс сигналдарынан шығысқа тәуелсіздігін орындайтын блоктардан тұрады.

Signals and Systems (сигналдар және жүйелер) тарауы – әр түрлі сигналдарды жіберуін қамтамасыз ететін блоктардан тұрады (ауыстыру, бірнеше сигналдардың бір шинаға біріктіру немесе оларды ажырату және т.б.). Сонымен қоса сигналдардың кейбір атрибуттарын өзгертетін немесе қайта анықтайтын блоктары бар.

Function and Tables (функциялар және кестелер) тарауы – сәйкестілік кесте арқылы берілген кіріс сигналдарын шығыс сигналдарына қатынасын көрсететін блоктардан тұрады.

Subsystems (подсистемы) тарауы – құрлымында төменгі деңгейі (жүйе бөлшек) моделі бар, күрделі S-модельдерін құру үшін және өз ара байланысын қамтамасыз етуіне арналған блоктардан тұрады.

Жүйе бөлшек – оның құрамында түрлі деңгейдегі жүйе бөлшектері бар, төменгі деңгей моделі болып табылады. Жүйе бөлшектер негізгі S-моделінің құрамында ғана бола алады және олар **(In)** кіріс және **(Out)** шығыстар арқылы байланысады.

NCD Blockset кітапханасы блогының жалпы сипаттамасы

MATLAB + Simulink жүйесінде Toolbox және Blockset атты құрал-саймандар жиынтығы бар. Toolbox жиынтығы MATLAB жүйесіне қатысты, ал Blockset жиынтығы - Simulink – ке.

BlockSet құрымына кіретін Nonlinear Control Design (NCD) сызықты емес жүйе басқаруын құру қолданбалы пакет бағдарламасы, басқару жүйесінің динамикалық оптимизациясын жасауға арналған. Ол арқылы айнымалыларды өзгертуге, жүйенің анықталмаған параметрлерін, интерактивті оптимизациялауын, Монте-Карло әдісімен модельдеу, басқару жүйесінің бір және көп өлшемді жобалауын қолдау, объектілерді кешіктіру арқылы модельдеу және басқарудың тағы да басқа есептерін шешуге болады.

MATLAB 7 + Simulink 6 версиясында Nonlinear Control Design блогы Response Optimization атты блогқа ауысты.

NCD пакетінің блок жиынтығы 3 блоктардан тұрады: CRMS (Continue RMS), DRMS (Discrete RMS) және NCD Output.

Қарастырылған блоктар, модельдеу жүйелерінің функционалдау сапасын квадратталған интегралды критерияларын немесе стандартты қатенің ауытқуын бағалау үшін қолданылады.

NCD блогы қарастырылатын блок жиынтығының негізі болып табылады. Оның өз жұмыс терезесі бар және интерактивті режимде келесі операцияларын орындайды:

- 1) оптимизациялау жүйесінің сигналдарына уақытты аймағында керекті шектеулерін беруге болады;
- 2) оптимизациялайтын параметрлерін көрсетуге болады;
- 3) анықталмаған параметрлерін көрсетуге болады;
- 4) жүйенің берілген шектеулер арқылы параметрлі оптимизациясын өткізуге болады.

Оптимизация процесінің параметрлерін белгісіз, нақты емес және өзгеруі мүмкін шамаларын күрделетуге болады.

Start батырмасы арқылы процестің іздеу шешімін қосуға болады. Қорытынды нәтижесін NCD терезесінде өтпелі процесін бастапқы және соңғы формасын көруге болады, сонымен қоса MATLAB терезесінде оптимизация процесінің мәліметтерін көрсетеді. Осындай белгілерді беру үшін NCD Output терезесінің Optimization менюында > Uncertainty... командасын таңдау керек. Ол Uncertain Variables атты терезені ашады.

Үнсіздік параметрдің номиналды мәні қолданылады (Constrain nominal simulation). Белгісіздікті енгізу үшін оның бастапқы (Constrain upper simulation) және/ немесе соңғы (Constrain lower simulation) шектеуін көрсету керек. Constrain Monte Carlo simulations белгісі көрсетілген зонасының (Монте-Карло әдісі) бірнеше кездейсоқ параметрлерінің мәнін модельдеуге болады.

Number of Monte Carlo simulations өрісінде сондай мәндерінің саны көрсетіледі, онда үлкен сандарды қолданбаған дұрыс.

NCD Output блогының графиктерін жою үшін Edit Delete plots меню пункті қолданылады (немесі Ctrl + X).

NCD Output блогының терезе менюін қарастырайық:

Меню File (Файл) – стандартты командаларынан тұрады Load (Загрузить - қосу), Close (Заккрыть - жабу), Save (Сохранить - сақтау) және Print (Печатать – баспаға шығару).

Меню Edit (Редактировать) – **қарастырылған** Edit constraint және Delete plots командаларынан тұрады, сонымен қоса соңғы команданы артқа қайтару Undo командасы бар.

Меню Options (Параметры) келесі пунктерден тұрады:

- **Initial response (Начальный отклик).** Бұл пункт **зерттелетін жүйенің бастапқы парметрлерінің мәндерін шығарады.**

- **Reference input (Задающий вход).** Бұл пункт *Reference signal for output* терезесін ашады. Ол арқылы керекті шығыс графигін алу үшін жүйенің кіріс параметірлері көрсетіледі. Олар модельдеу және оптимизация процестерінде ешқандай әсер етпейді.

Step response (Характеристики переходного процесса). Бұл пункт арқылы *Step response* атты диалог терезесін ашуға болады. Ол арқылы ауыспалы процестің келесі параметрлерін беруге болады:

- ұзақтылығын (Settling time);
- өсу уақытын (Rise time);
- қайта реттеу максималды мәнін (Percent overshoot);
- «қайта реттеу емес» максималды мәнін (Percent undershoot);
- Берілген сипаттамаларының деңгейлерін (Percent settling, Percent rise, пайыз түрінде);
- модельдеудің бастапқы және соңғы мәндерін (Step time и Final time);
- шығыс сигналының бастапқы және керекті соңғы мәндерін (Initial output и Final output).

Time range (Временной диапазон). Осы пунктты таңдау арқылы Time Axis Limits атты диалог терезесі ашылады. Ол арқылы модельдеудің уақыт диапазонын және уақыт осінің белгісін беруге немесе өзгертуге болады, яғни абсцисс осінің параметрлерін.

Y-Axis (Ось Y). Ординат осінің параметрлерін.

Refresh (Обновить) – барлық уақытша шектеулерін қайта құру.

Меню Optimization (Оптимизация) қарастырылған Parameters және Uncertainty пунктерінен тұрады, ал Start (Старт) пункті жүйенің оптимизация модельдеу процесін іске қосады. Stop (Стоп) пункті модельдеу процесін тоқтатады.

3.2 БЧХ кодегі

Боуз – Чоудхури – Хоквингем (БЧХ)кодтары - көптеген қателіктерді түзейтін жалпылама жүйелі сызықтық блоктық кодтары болып табылады.

t қателіктерін түзейтін қарапайым БЧХ коды – бұл $\alpha^{m_0}, \alpha^{m_0+1}, \dots, \alpha^{m_0+2t-1}$ элементтері үшін генерациялайтын, көпфункционалды $g(x)$ түбірі болып табылатын $GF(q)$ өрісіндегі $n=q^m-1$ ұзындықты блоктық коды, мұнда $\alpha \in GF(q^m)$ -нің қарапайым элементі.

$GF(q^m)$ үстіндегі қарапайым элемент - өрістің α элементінің бірі, 0-ден басқа осы өрістің барлық элементтері α элементінің дәрежесі ретінде алынуы мүмкін.

Генерацияланған полином ретінде жазуға болады

$$g(x) = \text{НОК}[m_{m_0}(x), m_{m_0+1}(x), \dots, m_{m_0+2t-1}(x)] \quad (3.8)$$

мұндағы $m_i(x)$ –минималды қарапайым полиномдар.

$m_0=1$ -менкодты БЧХ коды деп те айтса болады. Қарапайым емес БЧХ кодтары ұқсас жолмен анықталады, бірақ $\alpha \in GF(q^m)$ өрісіндегі қарапайым емес β элементімен алмастырылады және өрістің ұзындығы β тәртібіне тең болады.

Ерікті көп түрлі (t , екілік символдар) қателерді түзету үшін, кодты қашықтықты тексеру нышандарының көп мөлшерін енгізу арқылы арттыру қажет. $g(x)$ полиномын қалыптастыратын түбірлері бар, $\delta-1$ қатарынан, α дәрежесі және $d_0 \geq \delta$ код қашықтығы барциклдық код болып табылады. δ саны сындарлы код қашықтығы деп аталады және код қашықтығының төменгі шегі болып табылады. Сондықтан, көптеген түрдегі қателіктердің барлық конфигурацияларын түзету үшін генератордың полиномын $g(x)$ $2t$ дәйекті түбірімен таңдау керек. Циклдік кодтың $F_i(x)$ кодтарының тізбегі $g(x)$ арқылы қалдықсыз бөлінгендіктен, $\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2t}$ элементтері $g(x)$ -тің түбірлері, $F_i(x)$ полиномының түбірлері болып табылады.

Негізгі шартты $F_i(x) \cdot H_T(x) = 0$ қанағаттандыру үшін, БЧХ кодын тексеру матрицасы мынадай болуы қажет

$$H_{(x)} = \begin{pmatrix} 1, \alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{n-1} \\ 1, \alpha^3, \alpha^6, \alpha^9, \dots, \alpha^{3(n-1)} \\ 1, \alpha^{2t-1}, \alpha^{2(2t-1)}, \dots, \alpha^{(2t-1)(n-1)} \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

Бұдан шығатыны, БЧХ кодының кодтық жүйелілігі δ дизайн қашықтығымен $\delta - 1$ нөлдік спектральды коэффициенттері бар болады. Алайда, тексеру матрицасында жолдардың саны δ шамасынан шамамен екі есе аз. Бұл $GF(2)$ өрісінің ерекшеліктеріне байланысты, онда спектрлік коэффициенттердің теңдігі әрдайым дұрыс

$$f_2 \cdot i = (f_i)^2 \quad (3.10)$$

және жұп санды коэффициенттерді есептеу үшін дискретті Фурье түрлендіруі (ДФТ) талап етілмейді. Осылайша, $F_i(x)$ кодының БЧХ кодының ерікті кодының негізгі белгісі оның ДФТ-ның нөлдік коэффициенттерінің

болуы және бұл нөлдік сегмент спектрінің қандай бөлігін таңдағаны мүлдем маңызды емес.

БЧХ кодтарын декодтау

Алынған вектор $r=c+e$ - код сөзінің (с) сомасы және қате векторы (е). Декодерг векторын қабылдайды және оның міндеті ең төменгі Хэмминг салмағы бар е векторды табу болып табылады. Е векторы ықтимал кандидаттар 2^k жиынтығынан таңдалады.

Декодтаудың бұл түрі үшін, алдымен, R сигналының r қабылданған сигналының Фурье түрлендіруін есептеу қажет

$$R=C+E \quad (3.11)$$

Әрбір кодтық сөз C-ны конверсиялау $2t$ қатарлы нөлдерден тұрады, сондықтан E-нің $2t$ мәндеріне ие боламыз.

Қателер саны $w \leq t$ болса, онда қате локаторы 0, қате векторы $E=0$ болады.

Қате локаторын анықтаймыз:

$$\Lambda(z) = \prod_{k=1}^w (1 - z^{i_k}) = \Lambda_w z^w + \Lambda_{w-1} z^{w-1} + \dots + \Lambda_0 \quad (3.12)$$

мұнда, $i_1, i_2, \dots, i_w$ w қателер жағдайына сәйкес келеді. Уақыт арнасында $e_i \neq 0$, $\Lambda_i = 0$ шешуші декодтау теңдеуін аламыз

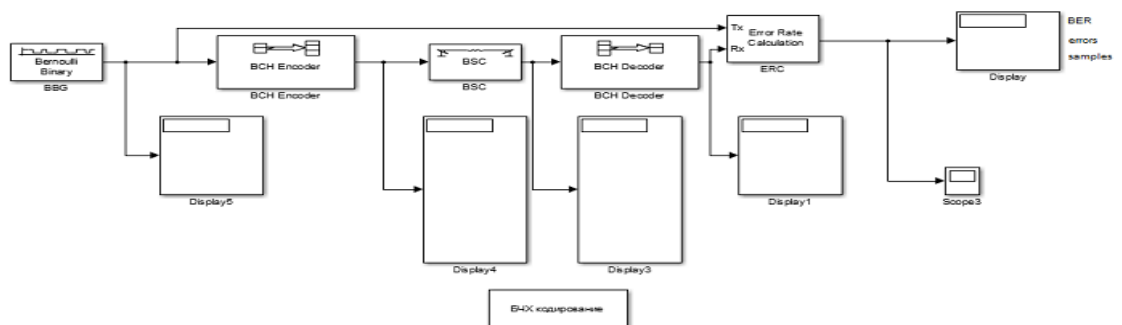
$$\sum_{k=0}^{n-1} \Lambda_k E_{j-k} \quad (3.13)$$

$2t$ дәйекті компоненттер белгілі болғандықтан, w белгісіз коэффициенттерге w теңдеулерін алуға болады Λ .

Қате локаторын тапқаннан кейін, кері Фурье түрлендіруінен кейін, E қателерін және детектордың шығу векторын береді

$$\hat{c} = r - \hat{e} \quad (3.14)$$

Зерттелетін кодердің компьютерлік моделі Simulink ортасында іске асырылған келесі құрылымдық сұлба болып табылады:



3.8 сурет - БЧХ кодегінің құрылымдық сұлбасы

Ақпараттық хабарламаларды құру (екілік символдар топтары) Bernulli Binary Generation блокты Communication Blockset/Comm Sources/Random Data Sources кітапханасынан алынады. Бұл генератор кейінгі кодтау үшін екілік қатарларды жасау үшін ең қолайлы болып таңдалады.

Белгіленген параметрлермен кодтау Communication Blockset/Error Detection and Correction/Block кітапханасынан BCH Encoder блогы жүзеге асырады. Блок қателерді түзету кодтарын теориялық тексеруде кодтау алгоритмінің сипаттамасына сәйкес жүзеге асырылады.

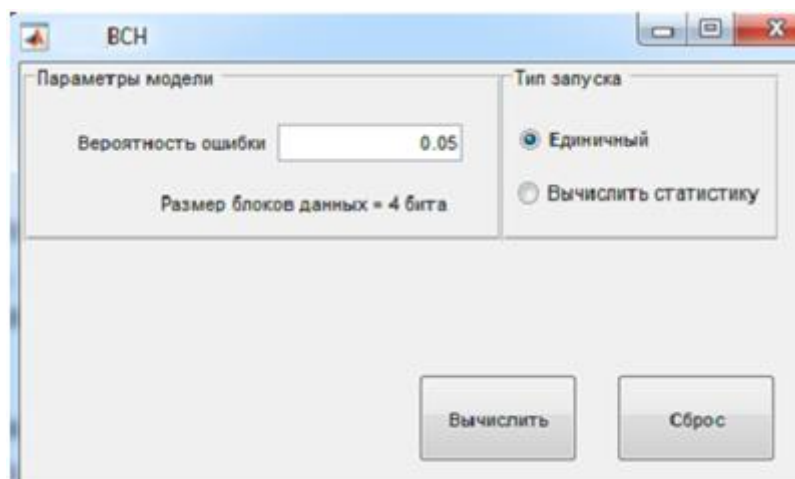
Сигналдың бір битінде берілген қателік ықтималдығы бар байланыс арнасы арқылы сигналды беру BSC блокпен Communication Blockset/Channels кітапханасынан эмуляцияланады.

Декодтау Communication Blockset/Error Detection and Correction/Block кітапханасынан BCH Decoder арқылы орындалады. Блок қателерді түзету кодтарын теориялық тексерудегі декодтау алгоритмінің сипаттамасына сәйкес жүзеге асырылады.

Қателерді тексеру және табу үшін, Communication Blockset/Comm Sinks кітапханасынан Error Rate Calculation блогының қате көрсеткіші пайдаланылады. Бұл блок кодтаудың, байланыс арнасы арқылы өтудің және декодтаудың нәтижесінде алынған ақпараттың бастапқы тізбегін салыстырады.

Көрсету және басқару үшін, әрбір блоктан кейін, Simulink/Sinks кітапханасындағы Display блоктары экранда көрсетілетін ең қолайлы құрал ретінде орнатылады.

Score блогы қате ықтималдылығын жіберілген биттердің санына тәуелділігін, сондай-ақ, деректерді Workspace терезесіне шығару үшін графикалық түрде көрсету үшін қолданылады.



3.9 сурет – BCH моделін басқару терезесі

«Есептеу» батырмасын басқан кезде, егер «Бірыңғай» іске қосу түрі таңдалса, онда байланыс арнасы арқылы кодталған кездейсоқ таңбалар тобына бірыңғай өтуді модельдеу және оны декодтау орындалады.

«Есептеу» батырмасын басқан кезде, «Статистиканы есептеу» іске қосу түрін таңдаған кезде әртүрлі таңбалар тобын байланыс арнасы арқылы (жалпы алғанда шамамен 10 000 бит) және статикалық деректерді есептеуді модельдеуге болады.

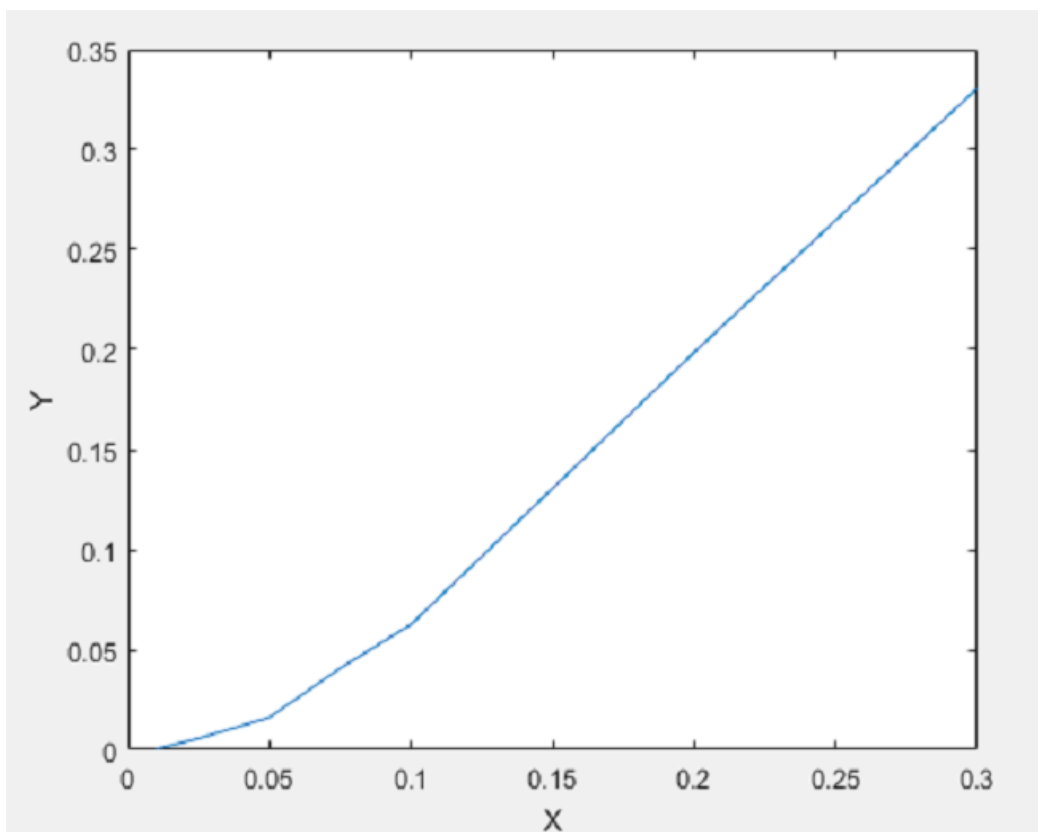
Төменде бірнеше модельдеуде декодтау сипаты туралы статистикалық ақпарат және бірыңғай модельдеу туралы ақпарат көрсетіледі.

Әр түрлі шу деңгейлері үшін кодтау/декодтаудағы қателердің статикалық ықтималдығын зерттейміз. 3.3 кестені қате ықтималдығын қате алудың статикалық ықтималдығы бойынша жасаймыз.

3.3 кесте

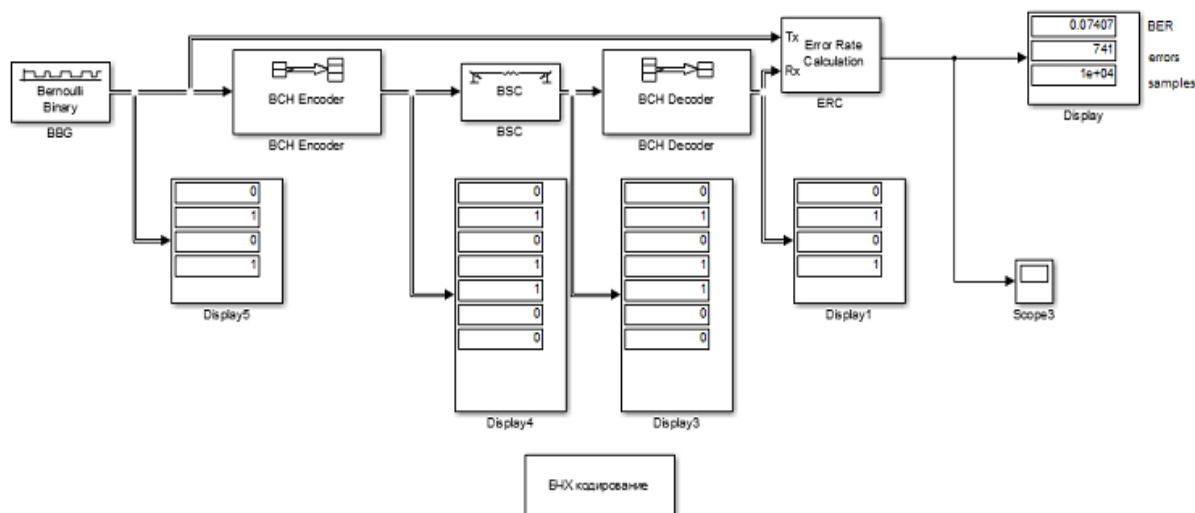
Параметр	Қатенің ықтималдығы (X)						
	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.2	0.3
Қате декодтау қабылдаудың статистикалық ықтималдығы (Y)	0.0003	0.0036	0.0177	0.0418	0.0688	0.1902	0.3202

3.3 кестеге сәйкес графикті құрамыз.



3.10 сурет - Қате қабылдау ықтималдылығының шудың қуатына тәуелділігі

Жоғарыда келтірілген 3.10 суретте көрсетілгендей, шудың күшеюі кезінде қателер саны артады, шу деңгейі неғұрлым жоғары болса, қателерді түзету кодының артық-кемшілігі қамтамасыз етіледі. Шудың қуатын жоғарылату арқылы декодтау қателігінің статистикалық ықтималдылығының шамасы 0,5-ке дейін ұмтылып, қателерді түзету коды мағынасын жоғалтады. Мысалы, 3.11 суретте көрсетілген сандық реті (0 1 0 1) БЧХ кодтауды және декодтауды енгізу процесі қарастырылған.



3.11 сурет – БЧХ кодегінің сұлбасы

Кіріс сигналы (0 1 0 1) BernoulliBinaryGeneration блогымен жасалады. Ол BCHEncoder блогына кіреді.

Display4-де кодталған хабарламаны көреміз (0 1 01 1 0 0).

BSC (кедергісі бар) блоктан кейін Display3-де (0 1 0 1 1 0 0) байқалады.

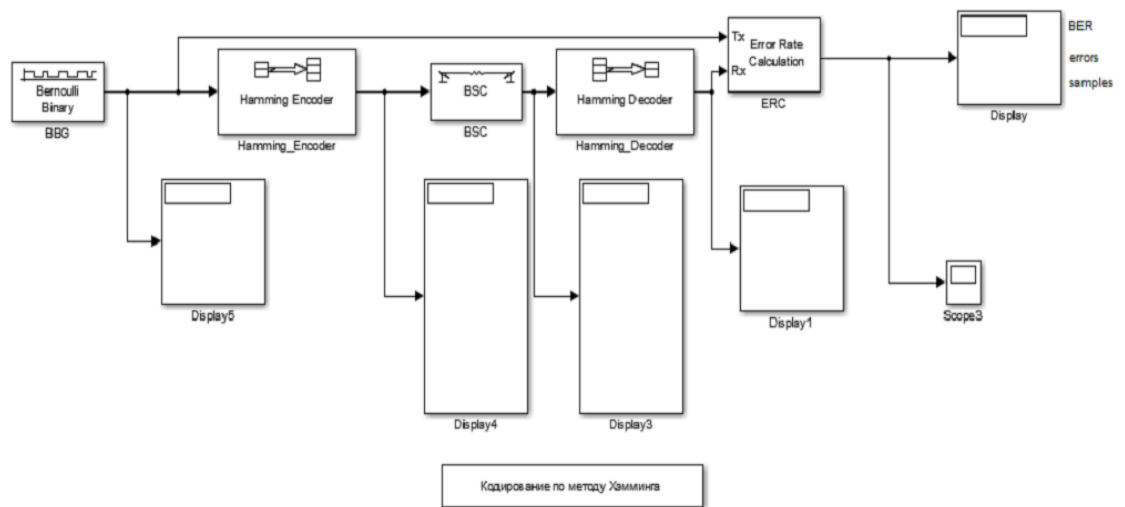
Содан кейін хабарлама BCHDecoder-ге келеді. Нәтижесінде Display1-де (0 1 0 1) аламыз.

Display-де $BER = 0.074$ (қателік ықтималдығы), $errors = 741$ (қате саны), $samples = 1E + 04$ (өлшеу саны) көрсетілген.

3.3 Жүйелі сызықтық блоктық кодты зерттеу

Ең көп тараған код -жүйелі сызықтық блоктық код болып табылады. Бұл бір реттік қателерді түзетуге қабілетті $d_{\min}=3$ ең аз код қашықтығы бар кодтарды қамтиды. Код сөзі байланыс арнасы арқылы берілсе, оның кез-келген элементтерінде бір реттік қате орын алуы мүмкін. Осылайша, қатенің орналасқан жерін анықтау үшін сынақ элементтерінің комбинацияларының саны 2^r кодтағы қате жағдайлардың санынан және қате болмаған жағдайдан асуы керек.

Зерттелетін кодердің компьютерлік моделі Simulink ортасында іске асырылған келесі құрылымдық сұлба болып табылады:



3.4 сурет - Жүйелі сызықтық блоктық кодтың құрылымдық сұлбасы

Ақпараттық хабарламаларды құру (екілік символдар топтары) Bernulli Binary Generation блокты Communication Blockset/Comm Sources/Random Data Sources кітапханасынан алынады. Бұл генератор кейінгі кодтау үшін екілік қатарларды жасау үшін ең қолайлы болып таңдалады.

Белгіленген параметрлермен кодтау Communication Blockset/Error Detection and Correction/Block кітапханасынан Hamming Encoder блогы жүзеге асырады. Блок қателерді түзету кодтарын теориялық тексеруде кодтау алгоритмінің сипаттамасына сәйкес жүзеге асырылады.

Сигналдың бір битінде берілген қателік ықтималдығы бар байланыс арнасы арқылы сигналды беру BSC блокпен Communication Blockset/Channels кітапханасынан эмуляцияланады.

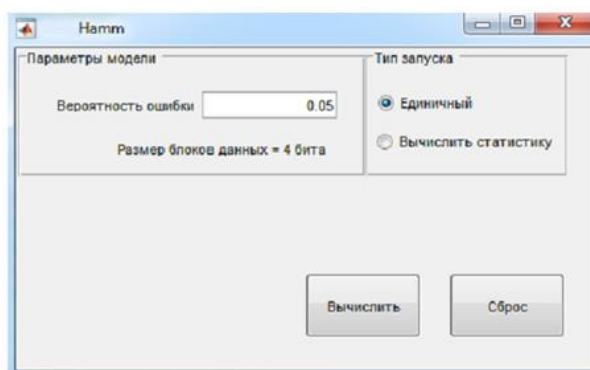
Декодтау Communication Blockset/Error Detection and Correction/Block кітапханасынан Hamming Decoder арқылы орындалады. Блок қателерді түзету кодтарын теориялық тексерудегі декодтау алгоритмінің сипаттамасына сәйкес жүзеге асырылады.

Қателерді тексеру және табу үшін, Communication Blockset/Comm Sinks кітапханасынан Error Rate Calculation блогының қате көрсеткіші

пайдаланылады. Бұл блок кодтаудың, байланыс арнасы арқылы өтудің және декодтаудың нәтижесінде алынған ақпараттың бастапқы тізбегін салыстырады.

Көрсету және басқару үшін, әрбір блоктан кейін, Simulink/Sinks кітапханасындағы Display блоктары экранда көрсетілетін ең қолайлы құрал ретінде орнатылады.

Score блогы қате ықтималдылығын жіберілген биттердің санына тәуелділігін, сондай-ақ, деректерді Workspace терезесіне шығару үшін графикалық түрде көрсету үшін қолданылады.



3.5 сурет –Модельді басқару терезесі

«Есептеу» батырмасын басқан кезде, егер «Бірыңғай» іске қосу түрі таңдалса, онда байланыс арнасы арқылы кодталған кездейсоқ таңбалар тобына бірыңғай өтуді модельдеу және оны декодтау орындалады.

«Есептеу» батырмасын басқан кезде, «Статистиканы есептеу» іске қосу түрін таңдаған кезде әртүрлі таңбалар тобын байланыс арнасы арқылы (жалпы алғанда шамамен 10 000 бит) және статикалық деректерді есептеуді модельдеуге болады.

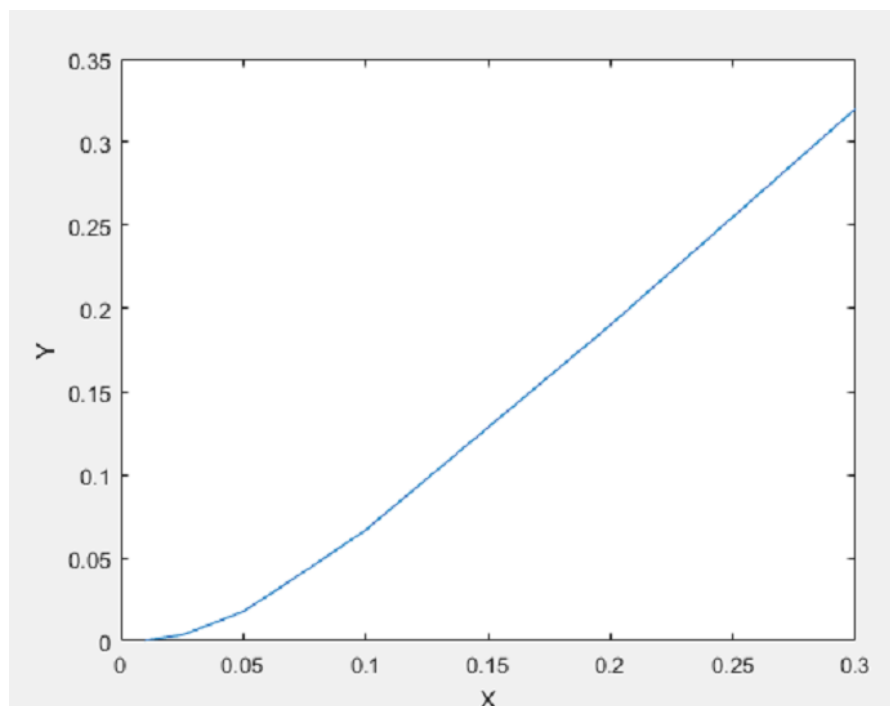
Төменде бірнеше модельдеуде декодтау сипаты туралы статистикалық ақпарат және бірыңғай модельдеу туралы ақпарат көрсетіледі.

Әр түрлі шу деңгейлері үшін кодтау/декодтаудағы қателердің статикалық ықтималдығын зерттейміз. 3.2 кестені қателік ықтималдығын қате алудың статикалық ықтималдығы бойынша жасаймыз.

3.2 кесте

Параметр	Қатенің ықтималдығы (X)						
	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1	0.2	0.3
Қате декодтау қабылдаудың статистикалық ықтималдығы (Y)	0.0005	0.0055	0.0168	0.0388	0.0741	0.1982	0.3225

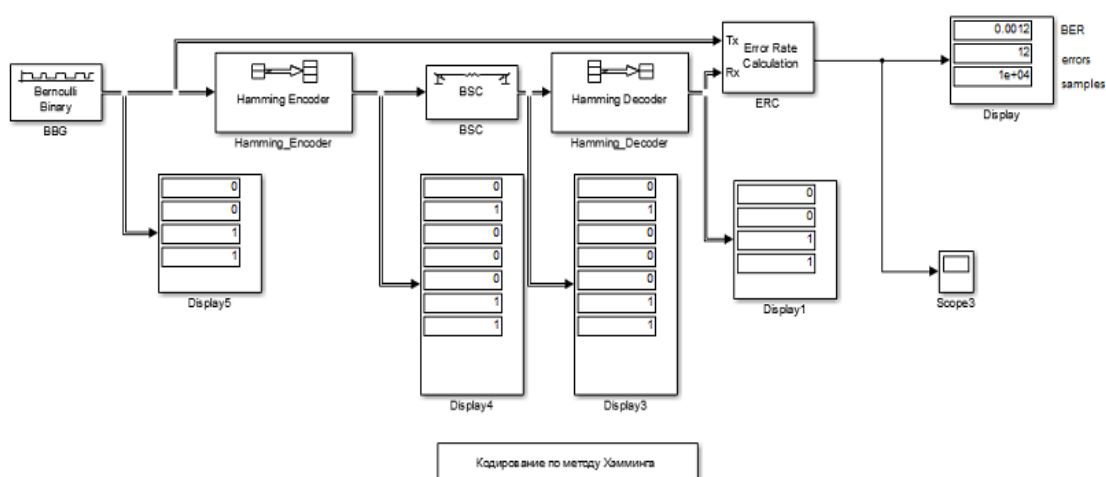
3.2 кестеге сәйкес графикті құрамыз.



3.6сурет - Қате қабылдау ықтималдылығының шудың қуатына тәуелділігі

3.6 суретте көрсетілгендей, шудың күшеюі кезінде қателердің саны артады, шу деңгейі неғұрлым жоғары болса, қателерді түзету кодының кемшілігі болады. Шудың қуатын жоғарылату арқылы декодтау қателігінің статистикалық ықтималдылығының шамасы 0,5-ке дейін ұмтылады, қателерді түзету коды мағынасын жоғалтады.

Мысалы, (0 0 1 1) сандық ретімен жүйелі сызықтық блоктық кодтың кодтау және декодтау процесін қарастырайық, 3.7 суретте көрсетілген.



3.7 сурет - Жүйелі сызықтық блоктық кодсұлбасы

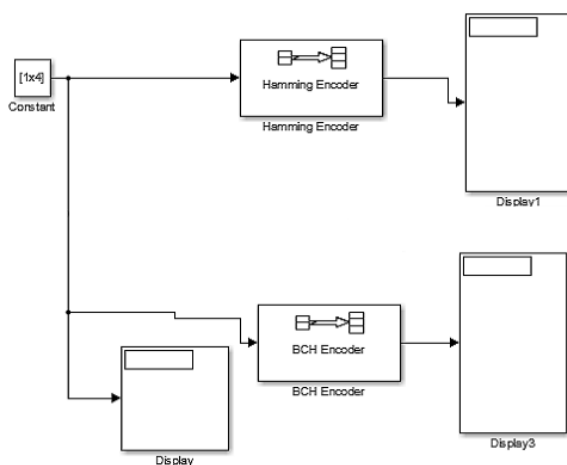
Кіріс сигналы (0 0 1 1) BernoulliBinaryGeneration блогымен жасалады. Ол HammingEncoder блогына кіреді. Display4-де кодталған хабарламаны көреміз (0 1 0 0 0 1 1).

BSC (кедергісі бар) блоктан кейін Display3-де (0 1 0 0 0 1 1) байқалады.

Содан кейін хабарлама HammingDecoder-ге келеді. Нәтижесінде Display1-де (0 0 1 1) аламыз.

Display-де $BER = 0.0012$ (қателік ықтималдығы), $errors = 12$ (қате саны), $samples = 1E + 04$ (өлшеу саны) көрсетілген.

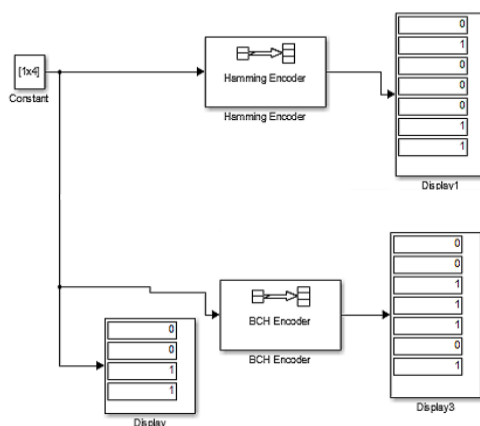
3.4 Жүйелі сызықтық блоктық код және БЧХ-ны салыстыру моделі



3.12 сурет – Simulink бағдарламасында құрылған салыстыру моделі

Бұл модельді сынау үшін Constant блогына массивтің әртүрлі нұсқаларын енгіземіз.

Мысалы, 3.13 суретте көрсетілген дәйектілікті енгіземіз (0 0 1 1).



3.13 сурет – Жүйелі сызықтық блоктық код және БЧХ кодерлерімен кодтау

Display1-де жүйелі сызықтық блоктық код кодері (0 1 0 0 0 1 1) кодтаған хабарламаны көреміз.

Display3-те БЧХ-ның кодталған хабарламасын байқаймыз (0 0 1 1 1 0 1).
Бірнеше кодтық сөз үшін кестені құрайық.

3.4 кесте

Кодтау үрдісінің нәтижелері	Код сөзі		
	0001	1010	1011
Жүйелі сызықтық блоктық код	1 0 1 0 0 0 1	0 0 1 1 0 1 0	1 0 0 1 0 1 1
БЧХ	0 0 0 1 0 1 1	1 0 1 0 0 1 1	1 0 1 1 0 0 0

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста сызықтық кодтарды оңтайлы таратуды мүмкіндіктері талданды. Ақпаратты жіберу дәлдігін жоғарылату мәселесі және байланыс арналары мен ақпаратты жіберу кезінде қойылатын талаптар қарастырылды. Ақпараттың шынайылығы, дәлдікті жоғарылату мақсатында бөгеуілдерден қорғалған кодтарға сипаттама беріп, кодтау және декодтау әдістері сарапталды.

БЧХ кодын кодтау негізінде : $n=15$, $s=3$, *практикалық есеп жүзінде мысалдар қарастырылып*, бақылау символдарының саны $k=15-10=5$. Нәтижесінде БЧХ кодының алынғанына көз жеткіздік.

Сондай ақ ұсынылған дипломдық жұмыста кіріс сигналына (0 0 1 1) кодын жазып, Хэмминг кодының және кіріс сигналына (0 1 0 1) кодын жазып, БЧХ кодының Matlab бағдарламасының көмегімен құрылымдық сұлбаларына зерттеу жүргідік. Нәтижесінде сызықты блокты кодтардың салыстыру моделин жасап, Display1-де жүйелі Хэмминг кодының кодері (0 1 0 0 0 1 1) кодталған хабарламаны көреміз.

Display3-те БЧХ-ның кодталған хабарламасын байқаймыз (0 0 1 1 1 0 1).

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. - М.: Радио и связь, 1988. - 240 с.
- 2 Берлекэмп Э.Р. Техника кодирования с исправлением ошибок // ТИИЭР. - 1980. - Т. 68, № 5, - С. 24-58.
- 3 Боуз Р.К., Рой-Чоудхури Д.К. Об одном классе двоичных групповых кодов с исправлением ошибок // Кибернетический сборник.- 1961.- Вып. 2.-С. 83-94.
- 4 Витерби А. Границы ошибок для сверточных кодов и асимптотически оптимальный алгоритм декодирования // Некоторые вопросы теории кодирования. - М.: Мир, 1970. - С. 142-165.
- 5 Золотарёв В.В. Алгоритмы кодирования символьных данных в вычислительных сетях // Вопросы кибернетики. - 1985. - Вып. 106.
- 6 Золотарёв В.В. Использование помехоустойчивого кодирования в технике связи // Электросвязь - 1990. - №7. - С. 7-10.
- 7 Золотарёв В.В. Коды и кодирование. - М.: Знание, 1990. - 64 с.
- 8 Золотарёв В.В. Многопороговое декодирование в недвоичных каналах // Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. - 1984. - Вып. 12.
- 9 Черных, И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс]/URL:<http://ru.bookzz.org/book/616321/7202b1>. (дата обращения 15.05.2016).
- 10 Золотарёв В.В. Реальный энергетический выигрыш кодирования для спутниковых каналов // Тез.докл. 4-й Междунар. конф. «Спутниковая связь. ICSC-2000» - М.: МЦНТИ, 2000. - Т. 2. - С. 20-25.
- 11 Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Использование многопорогового декодера в каскадных схемах // Вестник РГРТА. - 2003. - Вып. 11. - С. 112-115.
- 12 Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования для цифровых систем связи // Электросвязь.- 2003.-№9.-С. 34-37.
- 13 Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Сложность реализации эффективных методов декодирования помехоустойчивых кодов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Тез.докл. 12-й Междунар. науч.-техн. конф. - Рязань: РГРТА, 2004. - С. 12-14
- 14 Зяблов В.В., Коробков Д.Л., Портной С.Л. ВыНОКоскоростная передача сообщений в реальных каналах. - М.: Радио и связь, 1991. - 288 с.
- 15 Кларк Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Пер. с англ. под ред. Б.С. Цыбакова- М.: Радио и связь, 1987.- 392 с.
- 16 Красносельский И.И. Турбокоды: принципы и перспективы // Электросвязь. - 2001. - № 1. - С. 17-20.
- 17 Месси Дж. Пороговое декодирование / Пер. с англ. под ред. Э.Л. Блоха-М.: Мир, 1966.-208 с.

- 18 Нейфах А.Э. Сверточные коды для передачи дискретной информации. - М.: Наука, 1979. - 222 с.
- 19 Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки / Пер. с англ.; под ред. Р.П. Добрушина и СИ. Самойленко. - М.: Мир, 1976. - 594 с. 118
- 20 Прокис Дж. Цифровая связь / Пер с англ. под ред. Кловской Д.Д. - М.: Радио и связь, 2000. - 797 с.
- 21 Рид И.С., Соломон Г. Полиномиальные коды над некоторыми конечными полями // Кибернетический сборник. - 1983. - Вып. 7 - С. 74-79.
- 22 Самойленко СИ., Давыдов А.А., Золотарёв В.В., Третьякова Е.И. Вычислительные сети. - М.: Наука, 1981. - 277 с.
- 23 Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М.: Вильямс 2003. - 1104 с.
- 24 Форни Д. Каскадные коды / Пер. с англ. под ред. СИ. Самойленко - М.:Мир, 1970.-208 с.
- 25 Шеннон К.Е. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. - 1963. - С 243-332.
- 26 Andrews K., Berner J., Chen V., Dolinar S., Pollara F., Stanton V. Turbo-decoder implementation for the deep space network // IPN Progress Report 42-148.- 2002.-Feb. 15.
- 27 Bahl L.R., Cocke J., Jelinek F., Raviv J. Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate // IEEE Trans. Inf Theory.-1974.- March. - Vol. 20. - P. 284-287.
- 28 Barbulescu S.A., Pielrobon S.S. Interleaver design for turbo codes // Electronic Letters. - 1994. - Dec. - Vol. 30. - P. 2108.
- 29 Benedetto S., Divsalar D., Monlorsi D., Pollara F. Serial Concatenation of Interleaved Codes // IEEE Trans. Inf Theory. - 1998. - May. - Vol. 44. - P. 909- 926.
- 30 Berrou C, Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes // in Proc. of the Intern. Conf on Commun. (Geneva, Switzerland). - 1993. - May. - P. 1064-1070.

Қысқартулар тізімі

БЧХ – Боуз-Чоудхури-Хоквингем коды;
ДЖА – дискретті жадсыз арна;
ЕСА – екілік симметриялы арна;
ОД – оңтайлы декодер;
ШД – шекті декодер;
БЭ – бастапқы элемент;
ҚК – қателерді көбейту;
РС – Рид-Соломон коды;
ҮК – үйірткілі коды;
КЭҰ – кодтаудың энергетикалық ұтысы;
RSC – recursive systematic convolutional (рекурсивті жүйелі ұю);
qКДД – q-лік көп деңгейлі декодер;
qБЭ – q-лік бастапқы элемент;
qСК – q-лік симметриялы канал;

СЫН ПІКІР

дипломдық жобаға

Толеухан Айдана Азаматқызы

Мамандық 5B071900 - Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Сызықты кодтарды оңтайлы таратудың анализі»

Орындалды:

- а) графикалық бөлімі 12 бет;
ә) түсіндірме жазбасы 178 бет.

ЖОБАҒА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Бұл дипломдық жұмыста сызықты блокты кодтарды оңтайлы тарату мақсаты қойылған. Сызықты блокты кодтар басқа кодтармен салыстырғанда кез-келген қателіктерді алдын алу негізінде, кодтау және декодтау әдістері бойынша кең қолданыс табады.

Дипломдық жұмыстың бірінші бөлімінде ақпарат беру жүйесінің жалпы қағидалары сипатталып анықталған. Сонымен қатар, дискретті байланыс каналдарының жиі қолданылатын үлгілері және олардың негізгі сипаттамалары көрсетілген.

Жұмыстың екінші бөлімінде сызықтық кодтардың қолдану ерекшеліктері алгоритмдері, сызықты блокты кодтардың негізгі параметрлерінің есептеулері келтірілген.

Үшінші бөлімде бөгуілге төзімді кодтау модельдерін зерттеу қарастырылған. Matlab Simulink бағдарламасының көмегімен сызықты код модельдері құрылды, толығымен зерттелді.

Бұл дипломдық жоба жоғары оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғары дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер мамандығы бойынша ғылыми бағытқа жауап береді.

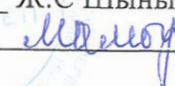
Жобада грамматикалық қателері және қазақша аударманың деңгейі, дипломанттың жұмысын жеңілдетеді деп санаймын.

Жобаның бағасы

Жалпы, дипломдық жұмыс "80%" жақсы деген бағаға бағаланып, ал студент Толеухан Айдана Азаматқызы дипломдық жұмысқа 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Пікір беруші

ҚазҰАУ, ЭҮЖА каф. меңгерушісі
доктор PhD.,
қауымдастырылған профессор

 Ж.С. Шыныбай
«13»  2019 ж.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Толеухан Айдана Азаматова

Название: Сызықты кодтарды оңтайлы таратудың анализы

Координатор: Ляззат Илипбаева

Коэффициент подобия 1:12,2

Коэффициент подобия 2:0

Тревога:30

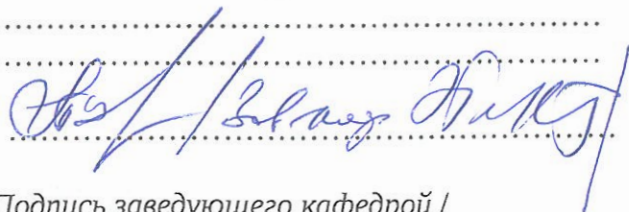
После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

-] обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
-] обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
-] обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....

15-05 2019



Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Толеухан Айдана Азаматова

Название: Сзыкты кодтарды оңтайлы таратудын анализы

Координатор: Ляззат Илипбаева

Коэффициент подобия 1: 12,2

Коэффициент подобия 2: 0

Тревога: 30

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШҚІРІ

дипломдық жоба

Толеухан Айдана

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: Сызықты кодтарды оңтайлы тарату анализы

Бүгінгі таңда ақпарат алмасуды тиімді ұйымдастыру адамдардың нәтижелі қызметінің басты шартына айналды. Қоғамның қалыпты қызметі үшін қажетті ақпарат көлемі күннен күнге өсуде. Ақпаратты түрлендірудің барлық сатыларында автоматтандыру әдістерін қолдану байланыс арнасының қызметінің тиімділігін жоғарылатады.

Ақпаратты жіберу дәлдігін жоғарылату мәселесі байланыс арналары мен ақпаратты жіберу кезінде қойылатын талаптар арасындағы сәйкестіктің болмауымен байланысты. Байланыс желілерінде 10^{-6} - 10^{-9} -нен кем емес дәлдікті қамтамасыз ету керек. Ал реалды байланыс арналарында қарапайым кодтарды пайдаланғанда дәлдік 10^{-2} - 10^{-5} -тен аспайды.

Бүгінгі кезде ақпараттың шынайылығы, дәлдікті жоғарылату мақсатында бөгеуілдерден қорғалған кодтарды пайдалану жатыр.

Бөгеуілге төзімді кодтаудың негізгі міндеті - сандық ақпаратты беру жүйесінің бөлігі ретінде кодтау/декодтау құрылғыларын пайдалану арқылы берілетін деректердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету проблемасын шешу. Бұл схема шуылға төзімді кодтау теориясында кеңінен пайдаланылады, өйткені ол практикада орын алатын көптеген жағдайларды қамтиды.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант **Толеухан Айдана** алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жобаны "75 (жақсы)", деп бағалап, ал студент **Толеухан Айдана** 5B071900 - «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай.

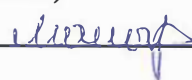
Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф, техн.ғыл.канд.,

ассоц.проф.


(қолы)

Л.Б.Илипбаева

«15»  2019 ж.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жоба

Толеухан Айдана

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тақырыбына: Сызықты кодтарды оңтайлы тарату анализы

Бүгінгі таңда ақпарат алмасуды тиімді ұйымдастыру адамдардың нәтижелі қызметінің басты шартына айналды. Қоғамның қалыпты қызметі үшін қажетті ақпарат көлемі күннен күнге өсуде. Ақпаратты түрлендірудің барлық сатыларында автоматтандыру әдістерін қолдану байланыс арнасының қызметінің тиімділігін жоғарылатады.

Ақпаратты жіберу дәлдігін жоғарылату мәселесі байланыс арналары мен ақпаратты жіберу кезінде қойылатын талаптар арасындағы сәйкестіктің болмауымен байланысты. Байланыс желілерінде 10^{-6} - 10^{-9} -нен кем емес дәлдікті қамтамасыз ету керек. Ал реалды байланыс арналарында қарапайым кодтарды пайдаланғанда дәлдік 10^{-2} - 10^{-5} -тен аспайды.

Бөгеуілге төзімді кодтаудың негізгі міндеті - сандық ақпаратты беру жүйесінің бөлігі ретінде кодтау/декодтау құрылғыларын пайдалану арқылы берілетін деректердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету проблемасын шешу. Бұл схема шуылға төзімді кодтау теориясында кеңінен пайдаланылады, өйткені ол практикада орын алатын көптеген жағдайларды қамтиды.

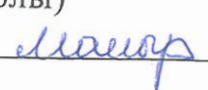
Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант **Толеухан Айдана** алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Сонымен қоса, дипломдық жоба стандартқа сай жасалған. Студент **Толеухан Айдана**

диплом алдыңғы қорғауға жіберілді.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф, асоц.проф

 Л.Б.Илипбаева

(қолы)

«15»  2019 ж. ✓