

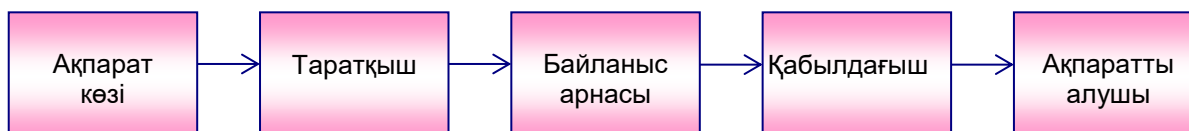
1-дәріс.

Ақпаратты беру радиотехникалық жүйесінің моделі

Ақпаратты беру радиотехникалық жүйесінің моделі (АБ РТЖ) ақпаратты ғана жіберуге арналған, объект, энергияны емес. Осындай жүйелерде электрмагнитті толқындар (сигналдар) көзден тұтынушыға ақпараттың тасымалдаушысы ғана ретінде қолданылады. Бұл радиосигналдарды беру және қабылдау басқа жүйелерден басты айырмашылығы.

Ақпаратты беру радиотехникалық жүйелерге, немесе басқаша айтылатын *байланысты типті жүйелерге*, радиобайланыс жүйелер (соның ішінде ұялы радиотелефондық байланыс), радиохабар мен теледидар жүйелер (соның ішінде спутниктік байланыс), радиотелеметриялық жүйелер (радиоканалмен өлшеулердің нәтижесін жіберуе арналған) және т.б. жүйелер жатады. *Өлшеуші типті жүйелер* – радиолокациялық және радионавигациялық жүйелер, траекториялық өлшеу жүйелер, қоршаған орта параметрлерін өлшеуге арналған жүйелер және т.б. – АБ РТЖ-нен айырмашылығы: қоршаған орта және объектімен әсерлесу кезінде пайдалы ақпарат сигналға беттестіріледі (немесе сигналда пайда болады) және осы объектілер мен сигналдың таралу ортасының параметрлер мен қасиеттерін бейнелейді. Қабылдау орнында пайдалы ақпарат сигналдан электрмагнитті өрістің сәйкесінші параметрлерін өлшеу арқылы алынады.

АБ РТЖ модельдің ең жалпы түрі 1.1-суретте көрсетілген. Бұл модель кез келген ақпаратты беру жүйесіне ие негізгі элементтерден тұрса да, АБ РТЖ сипаттайтын тек қарапайым суреттеме болады, яғни ол ақпаратты көзден алушыға дейін жіберу процесінде ақпаратпен орындалатын амалдарды толығымен көрсетпейді.



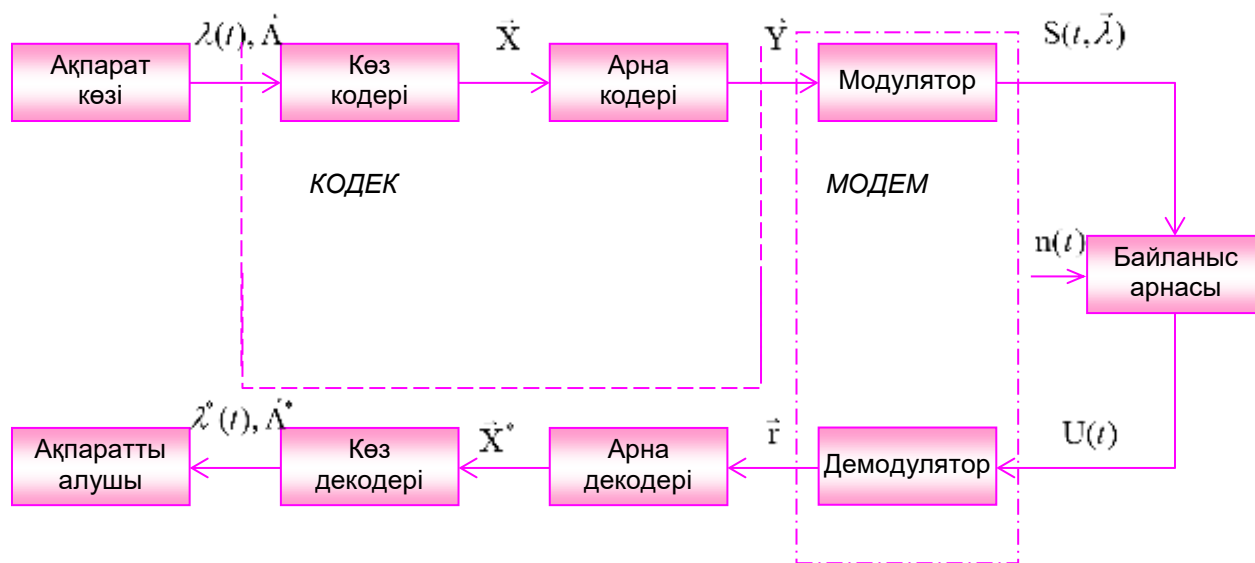
1.1-сурет.

1.2-суретте АБ РТЖ модельді толық келтірілген. Осы модельмен біз жұмыс істейміз. Оның элементтерінің қызметі мен функцияларын қысқаша қарастырайық.

1. Ақпарат көзі – бұл жіберетін мәліметті қалыптастыратын физикалық объект, жүйе немесе құбылыс. Мәліметтің өзі – бұл объект, жүйе немесе құбылыстың күйін бейнелейтін бір физикалық шаманың мәні немесе өзгерісі. Қағида бойынша, алғашқы мәлімет – дыбыс, музыка, сурет, қоршаған орта параметрлерін өлшеулер және т.б. – табиғаттары электрлік емес уақыт функциялар. Байланыс арнасымен бері үшін осындай мәліметтерді электрлік сигналға айналдырады, оның уақыт бойынша өзгерісі $\lambda(t)$ беретін мәлімет бейнелейді. Берілетін мәліметтің біразі өз табиғаты бойынша сигнал емес – бұл сандар массиві, мәтін немесе басқа файлдар және осыған ұқсастықтар. Осындай түрдегі мәліметтерді қандай да бір A векторымен белгілеуге болады.

Алғашқы мәліметтердің бірнешесі – дыбыс, музыка, сурет және т.б. – адамның сезім мүшелерімен тура қабылдауға арналған және жалпы жағдайда байланыс арнамен нәтижелі беруге жарамсыз. Сондықтан $\lambda(t)$ немесе A мәліметтер таңбаланады (кодтау процесінен өтеді). *Таңбалау процедурасына* $\lambda(t)$ үздіксіз мәліметтерді әдетте дискреттеу процесі де кіргізіледі, яғни элементарлы дискретті мәліметтер $\{\lambda_i\}$ тізбегіне айналдыру болып табылады.

Таңбалау (код беру) дегеніміз ақпаратты бір түрден екінші түрге түрлендіру. Байланыс техникасында таңбалау хабарды ажыратылатын символдар тізбегіне айналдыру операциясын білдіреді. Реалды жүйелерде теңестіретін (өшіретін) шуылдар (қозулар) болады, сондықтан ақпарат бөлігі жоғалады. Демек, ақпараттың (I) сақталу заңы $dI \leq 0$ теңсіздігі түрінде жазылады. Теңдік белгісі асимптотикалық түрде оптималдық таңбалауға сәйкес келеді. Таңбалау деп жалпы жағдайда қандай да бір алынған $\mathcal{R}\{x_j\}$, ($j = 1, 2, \dots, N$) кодтық символдармен $A\{\lambda_i\}$, ($i = 1, 2, \dots, K$) алфавитті айналдыруды айтады. Әдетте (бірақ міндетте емес) $\dim \mathcal{R}\{x_j\}$ кодтық символдар алфавиттің мөлшері $\dim A\{\lambda_i\}$ көз алфавиттің мөлшерінен аз болады. Мәліметтерді таңбалау әр түрлі мақсаттарды қуалайды – жіберетін берілгендердің көлемін қысқарту (берілгендерді сығу), уақыт бірлігінде өтетін ақпарат санын көбейту, жіберу ақиқаттығын ұлғайту, жіберген кезде ақпараттың құпиялығын қамтамасыз ету және т.б.



1.2-сурет.

2. Көз кодері

АБ РТЖ моделінде көзді таңбалау деп ақпараттың көлемін азайту (сығу) деп білеміз, ақпараттың беру жылдамдығын арттыру немесе жіберуге арналған жиілік жолын қысқарту мақсатымен.

Көздің таңбалауын кейбірде *экономды*, *артықты емес*, немесе *тиімді таңбалау*, және де *берілгендерді сығу* деп атайды. Экономды деп осы жағдайда таңбалаумен қамтамасыз ететін берілгендердің көлемін азайту дәрежесі деп білеміз.

Егер сығылған берілгендер бойынша бастапқы ақпарат *абсолютты дәл* алғашқы қалпына келтірілсе, ондай мұндай таңбалау *беріктікті* деп аталады. Беріктікті таңбалауды мәтінді, сандық берілгендер, компьютерлік файлдар және о.с., яғни алғашқы және қалпына келтірілген берілгендердің аз да айырмашалықтары болмауы тиіс жағдайларда қолданады.

Ақпаратты көп жағдайларда көзден оның тұтынушысына абсолютті дәл жіберу қажеті жоқ, және де *байланыс арнасында әрдайым бөгеттер бар*, сондықтан абсолютты дәл жіберу принципінде мүмкін емес. Осындай жағдайларда *бұзу сығуы* қолданады, алғашқы мәліметті қандай да бір жуықтау дәрежесімен қамтамасыз ететін. Қағида бойынша, сығудың бұзу әдістердің беріктіктілерге қарағанда тиімділігі жоғары.

Осыдан, көз кодерінің шықпасында $\lambda(t)$ немесе A жіберілетін мәліметтер бойынша *ақпараттық тізбек* деп аталатын X кодтық символдар тізбегі құрылады, ол бастапқы мәліметтің абсолютты дәл (немесе жуықталған) алғашқы түріне келтіру мүмкіндік береді және мүмкіншілік болғанша мөлшері аз болады.

Көздің кодерінде қолданатын практика сабағында біраз әдістерді қарастырамыз: Шеннон-Фано әдісі, арифметикалық, Хафман, LZ және т.б. әдістер.

3. Арна кодері

Байланыс арнасымен ақпараты жіберген кезде *бөгеттерден* алынған берілгендерде қателер пайда болу мүмкін. Егер осындай қателердің шамасы аз болса немесе олар сирек кездессе, ақпаратты қолдануға болады. Қателердің саны біраз кезде ақпаратты қолдануға болмайды.

Арна кодерінде қолданатын әдісті *бөгетке тұрақты кодтау* деп атайды. Бұл бөгеттері бар байланыс арнамен бергенде пайда болатын қателер санын азайтуын қамтамасыз ететін берілетін мәліметтің өңдеу тәсілі. Бөгетке тұрақты кодтаулардың бірнеше әдістері бар, бірақ олардың барлығы келесіге негізделген:

бөгетке тұрақты кодтау кезінде берілетін мәліметтерге арнайы түрмен ұйымдастырылған артықшылық кіргізіледі (берілетін кодтық тізбекке артық символдар еңгізіледі), ол қабылдағышта қатені тауып және түзетуге мүмкіндік береді.

Осылай, егер көзді таңбалағанда мәліметтегі жаратылыс артықшылықты жоюға тырысса, арнадағы таңбалау кезінде берілетін хабарға артықшылықты әдейі еңгізеді. Арна кодерінің шықпасында нәтижесінде $Y(X)$ кодтық символдар тізбегі пайда болады, *кодтық тізбек* деп аталатын.

Ақпаратты берген кезде бөгетке тұрақты кодтауы да, берілгендердің сығуы да міндетті операциялар емес екенін айтып кетейік. Бұл процедуралар (және АБ РТЖ құрылымдық схемасындағы сәйкесінше блоктар) жоқ болу мүмкін. Бірақ бұл жүйенің бөгетке тұрақтылығына елеулі шығын әкеледі, ақпаратты беру жылдамдығы азаяды және беру сапалығы төмендейді. Сондықтан заманауи барлық жүйелер (тек ең қарапайым жүйелерді қарамағанда) берілгендердің тиімді де, бөгетке тұрақты да кодтаулардан тұру керек.

4. Модулятор

Модулятордың функциясы – көз мәліметін немесе кодерден шыққан кодтық тізбекті *байланыс арнаның қасиеттерімен байланыстыру* және жалпы байланыс арнамен бір уақытта бірнеше хабарды беруін қамтамасыз ету.

Расында, беруге арналған көп үздіксіз $\lambda(t)$ және дискретті $\bar{\lambda}$ мәліметтер және де олардың таңбалау нәтижелері – \bar{X} және \bar{Y} кодтық символдар тізбегі – бұлар кең жолақты ($\Delta F \leq 1$ МГц, $\Delta F \sim f_0$) төмен жиіліктегі сигналдар. Ал электромагнитті тербелістер (радио толқындар) арқылы тиімді беру тек салыстырмалы тар жолақты спектрмен ($\Delta F \ll f_0$) жоғары жиілікті сигналдармен ғана ($f_0 \geq 1 \dots 1000$ МГц және одан да жоғары)) мүмкін.

Сондықтан *модулятор $\lambda(t)$ ($\bar{\lambda}$) көз мәліметтерін*, немесе сәйкесінше \bar{X} және \bar{Y} кодтық тізбектерді $S(t, \lambda(t))$, $S(t, Y(\lambda(t)))$ *сигналдарға түрлендіру керек* (сигналға мәліметтерді қосу), соңғы пайда болған сигналдың қасиеттері радио арнамен (немесе басқа байланыс арнамен – телефондық, оптикалық және т.б.) ақпаратты тиімді беруге мүмкіндік беретіндей. Және де жалпы радио арналарда жасайтын ақпаратты беру жүйелер жиынына жататын сигналдар келесідей болу керек: мәліметтер бүкіл көздерден барлық тұтынушыларға тәуелсіз жету қажет.

Қазіргі кезде сигналдарды тиімділігі әр түрлі модуляциялайтын әдістердің бірнешесі бар, олар қандай да бір сапалықпен ақпаратты беруді қамтамасыз етеді. Солардың ішінде ең қарапайым әдістері: үздіксіз сигналдардың амплитудалық, жиіліктік және фазалық модуляциясы.

5. Байланыс арна

Біз қарастыратын моделінде ақпаратны көзден тұтынушыға дейін тасымалдаушы ретінде электромагнитті толқындар немесе радио толқындар қолданылады, ал тарау ортасы ретінде – қоршаған кеңістік немесе *радио арна*. Электромагнитті толқындардың таралу ортасы болып табылатын радио арнаның физикалық қасиеттерін бұл курста қарастырылмайды, біз тек радио каналды АБ РТЖ-нің бөлігі деп көреміз. Радио арнаның кірісіне таратқыштан $S(t, \lambda(t))$ сигналы түседі, ал арнаның шығысында $U(t)$ сигналы пайда болады, ол әдетте алынған тербеліс деп аталады.

Көп немесе аз қиыншылығы бар радио арнаның модельдері көп, бірақ жалпы жағдайда $S(t, Y(\lambda(t)))$ сигналы байланыс арнамен өткенде әлсірейді, біраз уақыттық кідірісі (немесе фазалық ығысу) пайда болады және шуылданады. Алынған тербеліс ($U(t)$) бұл жағдайда келесі түрде болады:

$$U(t) = \varepsilon S(t - \tau, Y(\lambda(t))) + n(t),$$

мұнда ε – өшірілу, τ – уақыттық кідіріс, $n(t)$ – байланыс арнадағы шуылдар.

Шуылсыз байланыс арнаның сыйымдылығын жуықтап табуға болады, егер осы арнаға жарамды толқындық процестердің максималды жиілігін білсек. Ақпаратты беру жылдамдығы осы жиіліктен аз емес деп санауға болады. Мысалы, шекті жиілік 1000 Гц-ке тең кезде 1 Кбодтан аз емес ақпаратны жіберу жылдамдығын қамтамасыз етуге болады.

Ақпаратты тізбекті беруге болады, яғни бит соңынан бит жіберіп, және параллельді жіберуге болады, яғни бекітілген бит санын топтастырып. Параллельді тәсіл жылдамдырақ, бірақ ол техника жүзінде іске асыру қиын және үлкен қашықтыққа жібергенде қымбатқа шығады. Параллельді тәсілді, дағдыдағыдай, 5 метрден көп емес қашықтықтарға жібергенде қолданады.

Байланыс каналдардың және олармен байланысты шекті жиіліктердің мысалдары:

- телеграф – 140 Гц,
- телефон – 3.1 КГц,
- қысқа толқындар (10-100 м) – 3-30 МГц,
- УҚТ (1-10 м) – 30-300 МГц,
- спутник (сантиметрлік толқындар) – 30 ГГц,
- оптикалық (инфракызыл диапазон) – 0.15-400 ТГц,
- оптикалық (көрінетін жарық) – 400-700 ТГц,
- оптикалық (ультракүлкің диапазон) – 0.7-1.75 ПГц.

6. Қабылдағыш

АБ РТЖ-сіндегі қабылдағыштың міндеті: $U(t)$ алынған тербеліс бойынша өзінің шығысында $\lambda(t)$ немесе Λ жіберілген мәліметтерді максималды мүмкіндік дәлдікпен қайта шығару. Қабылданған (қайта шығарылған) мәліметтің бөгеттер кесірінен, жалпы жағдайда, жіберілген мәліметтен айырмашылығы бар. Қабылданған мәліметті *бағалау* деп атаймыз (мәліметті бағалау ретінде айтылған) және жіберілген мәліметтің символындай тек “*” белгісі бар таңбасымен белгілейміз: $\lambda^*(t)$ немесе $\bar{\Lambda}^*$. Алынған тербеліс бойынша мәліметті бағалаудың қайта шығару процесі бірнеше этаптан тұрады.

7. Демодулятор

$\lambda^*(t)$ немесе $\bar{\Lambda}^*$ мәліметтерді бастапқы күйге келтіру үшін біріншіден жүйенің қабылдағышы қабылданған $U(t)$ тербеліс бойынша және жіберген кездегі сигналдың түрі мен модуляцияның әдісі туралы мәліметтерді ескеріп, $\bar{Y}^*(\lambda(t))$ кодтық тізбекті (бұл тізбекті *қабылданаған тізбек* r деп атайды) бағалау керек. Осындай процедура *демодуляция* немесе *сигналды қабылдау* деп аталады. Демодуляция кезінде қабылданаған \bar{r} тізбектің жіберілген \bar{Y} кодтық тізбектен айырмашылығы өте аз болу керек.

8. Канал декодері

Жалпы жағдайда қабылданаған \vec{r} тізбектің жіберілген \vec{Y} кодтық тізбектен айырмашылығы болу мүмкін, яғни қателігі бар болу мүмкін. Осындай қателіктердің саны байланыс арнасындағы бөгеттердің деңгейіне, ақпаратты беру жылдамдығына, модуляция әдісіне, және де $U(t)$ тербелісті қабылдау тәсіліне (демодуляцияға) байланысты. Арна декодерінің мақсаты – осындай қателіктерді мүмкіндігінше табу және түзету. Қабылданаған \vec{r} тізбектегі қателіктерді табу және түзету процедурасы каналдың таңбалауын шешу (декодирование, декодтау) деп аталады. Осы процедурасының нәтижесі \vec{X}^* ақпараттық тізбектің бағалауы болып табылады. Бөгетке тұрақты таңбаны, таңбалау әдісін және декодтау тәсілін қолданғанда, декодердің шығысында түзелмеген қателіктер азырақ қалатындай етіп таңдау керек.

9. Көз декодері

Көз ақпараты $(\lambda(t), \vec{\Lambda})$ беруге ыңғайлы болу үшін ол таңбалау процесінен өтеді (берілгендерді қысу, экономды таңбалау, көздің таңбалауы), сондықтан қабылданған \vec{X}^* тізбек бойынша оның алғашқы қалпына (немесе алғашқы қалпына дерлік) келтіру қажет. $\vec{\Lambda}^*$ тізбекті \vec{X}^* тізбегі бойынша қалпына келтіру процедурасы *көздің декодтауы* (таңбаны шешу) деп аталады. Ол таңбалау амалына кері болу мүмкін (бұзылмайтын таңбалау/таңбаны шешу әдісті қолданған кезде), немесе $\vec{\Lambda}$ тізбегінен аз маз айырмашылығы бар $\vec{\Lambda}^*$ мәнін жуықтап қалпына келтіреді (бұзылу таңбалау/таңбаны шешу).

Бөгетке тұрақты әдістермен қоса экономды таңбалау әдістер ақпаратты жіберу жылдамдығы мен сапалығын асыру тиімді тәсілі болғандықтан, олар соңғы кезде ақпаратты беру жүйелерде елеулі орын алатынын атап кетейік.