# IP телефония

## **Дәріс 6:** Кодектер және сөйлеу сигналын цифрлық өңдеу

ДӘРІСКЕР: PhD, доцент м.а.
Сқабылов Әлішер Әлиұлы

# Дәрістің мақсаты:

Сөйлеу сигналын цифрлық түрге түрлендіру принциптерін зерттеу, негізгі аудио кодектердің жұмыс ерекшеліктері мен қолданылуын түсіндіру, сондай-ақ пакеттеу аралығы мен хаттамалық тақырыптарды ескере отырып, дауыстық ағынның өткізу қабілетін есептеу тәсілдерін қарастыру.

# Сөйлеу сигналын цифрлық өңдеу

**Сөйлеу сигналы** — адам дауысының ауа қысымының өзгеруі түрінде таралатын акустикалық толқын. IP-телефонияда аналогтық сигнал цифрлық түрге айналдырылып, желі арқылы тасымалданады.

**Цифрлық өңдеудің негізгі кезеңдері:**

1. Дискреттеу — сигналды уақыт бойынша өлшеу.
2. Кванттау — өлшенген мәндерді деңгейлерге жуықтау.
3. Кодтау — мәндерді биттер тізбегіне айналдыру.
4. Сығу — деректер көлемін азайту.
5. Тасымалдау — желі арқылы жіберу.
6. Декодтау және қалпына келтіру — сигналды қайта құру.

**Телефондық байланыс параметрлері:**

- Жиілік диапазоны: 300–3400 Гц.
- Тар жолақты дискреттеу: 8 кГц.
- Кең жолақты дискреттеу: 16 кГц.

# Дискреттеу, кванттау және кодтау

**Дискреттеу** (Sampling) — үздіксіз сигналды белгілі уақыт аралығында өлшеу.
**Кванттау** (Quantization) — әр өлшем мәнін белгілі амплитудалық деңгейге жуықтау.
**Кодтау** (Encoding) — квантталған мәндерді биттер тізбегіне айналдыру.

| Параметр | Мәні |
|---|---|
| 8 бит | 256 деңгей |
| 16 бит | 65 536 деңгей |
| 8 кГц дискреттеу | Секундына 8000 үлгі |
| Бір үлгі аралығы | 125 мкс |

# Кодектерді жіктеу

Кодектер бірнеше белгі бойынша жіктеледі.

1. **Кодтау тәсілі бойынша:**
   - PCM — импульстік-кодтық модуляция.
   - ADPCM — адаптивті дифференциалдық PCM.
   - CS-ACELP — сөйлеуді төмен биттік жылдамдықпен кодтау.
   - Opus — сызықтық болжау мен түрлендіру тәсілдерін біріктіреді.
2. **Алгоритм түрі бойынша:**
   - Толқындық кодектер — PCM, ADPCM.
   - Параметрлік кодектер — LPC.
   - Гибридті кодектер — CELP, G.729.

# Кодектерді жіктеу

## 3. Жолақ ені бойынша:

| Түрі | Жиілік диапазоны | Дискреттеу |
|---|---|---|
| Narrowband | 300–3400 Гц | 8 кГц |
| Wideband | 50–7000 Гц | 16 кГц |
| Super-wideband | 50–14000 Гц | 32 кГц |

# Негізгі кодектерді салыстыру

| Кодек | Битт |
| --- | --- |
| G.711 | 64 кб |
| G.722 | 48, 5( |
| | |

# Өткізу қабілетін есептеу

Пакет жиілігі:

$$f_{\text{пакет}} = \frac{1}{T}$$

Пайдалы жүктеме:

$$P = \frac{R_{\text{кодек}} \times T}{8}$$

IP деңгейіндегі жылдамдық:

$$B_{\text{IP}} = (P + H) \times 8 \times f_{\text{пакет}}$$

Мұнда:

- $T$ — пакеттеу аралығы;
- $P$ — пайдалы жүктеме, байт;
- $H$ — тақырыптар көлемі;
- $R_{\text{кодек}}$ — кодек жылдамдығы.

# Спектрді шектеу және дискреттеуге дайындау

Дискреттеу алдында сигналдың пайдалы жиілік жолағы шектелуі керек.

**Aliasing** — дискреттеу шарты бұзылған кезде жоғары жиілікті құрамалардың цифрлық спектрде қате бейнеленуі.

**Негізгі ерекшеліктер:**

- Дискреттеу жиілігі сигнал спектрінің жоғарғы шекарасынан екі еседен жоғары таңдалады.
- Кіріс сүзгісі қажетсіз жоғары жиіліктерді шектейді.
- Нақты сүзгілерде өтпелі жолақ болады.
- Дискреттеу жиілігі мен пайдалы аудио жолағы бірдей ұғым емес.

**Мысал:**

- Телефондық жолақ: 300–3400 Гц.
- Дискреттеу жиілігі: 8 кГц.

# Кванттау қатесі және компандирлеу

**Кванттау қатесі** — бастапқы сигнал мәні мен оған жуықталған кванттау деңгейінің айырмасы.

**Сигнал сапасына әсер ететін факторлар:**

- Кванттау тереңдігі.
- Микрофон шуы.
- Күшейту деңгейі.
- Сигналдың шектелуі.

**Clipping** — сигнал амплитудасы рұқсат етілген шектен асқанда пайда болатын бұрмалану.

**G.711 компандирлеуі:**

- A-law және μ-law заңдарын қолданады.
- Әлсіз және күшті амплитудалар бірдей қадаммен квантталмайды.
- Кіші амплитудалар үшін кванттау деңгейлері тиімді бөлінеді.

# PLC, FEC және қайта жіберу

Пакет жоғалған кезде дыбыс сапасын сақтау үшін бірнеше әдіс қолданылады.

| Әдіс | Жұмыс принципі | Ерекшелігі |
|---|---|---|
| PLC | Жоғалған дыбысты болжаммен толтыру | Бастапқы деректі дәл қалпына келтірмейді |
| FEC | Қосымша кодтық ақпарат арқылы қалпына келтіру | Қосымша өткізу қабілетін қажет етеді |
| Қайта жіберу | Жоғалған пакетті қайта жеткізу | Пакет ойнату уақытынан кешігуі мүмкін |

# Білімді бекітуге арналған сұрақтар:

1. Дискреттеу жиілігін таңдауда спектрді шектеу сүзгісі не үшін қажет?
2. G.711 жылдамдығы қалай есептеледі және ол толық желілік жылдамдық па?
3. G.722 неліктен G.711-ден міндетті түрде көбірек бит/с талап етпейді?
4. Opus кадр ұзақтығы мен толық алгоритмдік кідіріс несімен ерекшеленеді?
5. Пакеттеу аралығын ұзарту тақырып шығынына және жоғалудың әсеріне қалай ықпал етеді?
6. VAD, CNG және PLC әдістері қандай міндет атқарады?
7. Aliasing пайда болғаннан кейін сандық сүзгі оны неге әрдайым жоя алмайды?
8. Дискреттеу жиілігі, PCM разрядтылығы және сығылған биттік жылдамдықтың айырмашылығы қандай?
9. Clipping мәселесін жоғары биттік жылдамдыққа ауысу неге міндетті түрде шешпейді?

# Әдебиеттер тізімі:


1. ITU-T G.711. Pulse Code Modulation of Voice Frequencies.
2. ITU-T G.722. 7 kHz Audio Coding within 64 kbit/s.
3. ITU-T G.729. Coding of Speech at 8 kbit/s.
4. RFC 6716. Definition of the Opus Audio Codec. 2012.
5. RFC 3551. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. 2003.
6. RFC 3550. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. 2003.