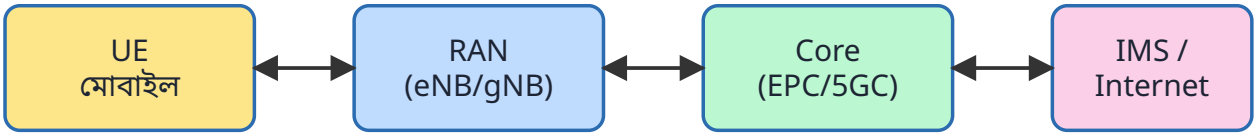
টেলিটক বাংলাদেশ লিমিটেড

সহকারী ব্যবস্থাপক (কারিগরি) পূর্ণাঙ্গ প্রস্তুতি নোট

পরীক্ষা: ১৬ অক্টোবর ২০২৬ | আয়োজক: বুয়েট (BUET)

এই নোটের পুরো যাত্রা



রেডিও → র‍্যান / ব্যাকহোল → কোর → ভয়েস (IMS) → ডেটাবেস → পাওয়ার

এই নোটে যা আছে

- সার্কুলারের সব টপিক ক্রমানুসারে — ১৪টি টেকনিক্যাল অধ্যায় + কমিউনিকেশন স্কিল + অ্যাপটিটিউড
- প্রতিটি অধ্যায়ে: ধারণা → সূত্র/math → ডায়াগ্রাম → সমাধান করা উদাহরণ → MCQ (উত্তরসহ ব্যাখ্যা)
- শেষে: সূত্র-সারসংক্ষেপ, সংক্ষিপ্ত রূপ তালিকা, মডেল টেস্ট

সূচিপত্র ও প্রস্তুতির কৌশল

প্রথমে কী পড়বেন, কোনটা কত সময় দেবেন

অধ্যায়	বিষয়	সার্কুলারের টপিক
১	টেলিকম বেসিকস	Telecom Basics
২	রেডিও কমিউনিকেশন বেসিকস	Radio Communication Basics
৩	সেলুলার নেটওয়ার্কের মূল ধারণা	Basic Concept of Cellular Networks
৪	মোবাইল কোর ও ব্যাকহোল আর্কিটেকচার	Mobile Core and Backhaul Architectures
৫	প্যাকেট-সুইচড মোবাইল নেটওয়ার্ক	Packet-Switched Mobile Networks
৬	NFV	Network Function Virtualization
৭	C-RAN ও O-RAN	Cloud RAN & Open RAN
৮	৫জি নেটওয়ার্ক স্লাইসিং	5G Network Slicing
৯	প্যাকেট সুইচিং, কল কন্ট্রোল, সার্কিট থেকে EPC/5GC	Packet Switching, Call Control, Evolution
১০	কল ফ্লো, সেশন ম্যানেজমেন্ট, মবিলিটি	Call Flow, Session, Mobility
১১	IMS আর্কিটেকচার	IMS for Voice and Multimedia
১২	ইউজার ডেটা ম্যানেজমেন্ট ও অথেন্টিকেশন (HLR/HSS/UDM)	Mobile User Data, Authentication
১৩	টেলিকম পাওয়ার সিস্টেম	Power System for Telecom
১৪	সিমুলেশন ও কনফিগারেশন স্ক্রিপ্টিং	Scripting for Simulation and Configuration
১৫	বাংলাদেশের টেলিকম ইন্ডাস্ট্রি	Telecom Industry of Bangladesh
১৬	কমিউনিকেশন স্কিল	Communication skill
১৭	অ্যাপটিটিউড (গণিত, লজিক, ডেটা ইন্টারপ্রিটেশন)	Aptitude
পরিশিষ্ট	সূত্র-সারসংক্ষেপ, সংক্ষিপ্ত রূপ, মডেল টেস্ট	

প্রথম কথা: পরীক্ষার ধরন নিয়ে সতর্কতা

যা নিশ্চিত নয়

সার্কুলারে (পোস্ট নং ০২ — সহকারী ব্যবস্থাপক, কারিগরি; বেতন গ্রেড ০৯; বিএসসি ইঞ্জিনিয়ারিং ইইই/ইসিই/ইটিই/সিএসই; বয়স সর্বোচ্চ ৩২) লিখিত পরীক্ষার **মার্ক বা প্রশ্নের ধরন দেওয়া নেই**। Gemini যে লিখেছে 'বুয়েট প্যাটার্ন = ব্লক ডায়াগ্রাম + math + পয়েন্ট আকারে উত্তর' — এটা অনুমান, যাচাই করা তথ্য নয়। তাই প্রবেশপত্র, টেলিটকের নোটিশ ও জব পোর্টাল (jobs.teletalk.com.bd) দেখে প্রশ্নের ধরন নিশ্চিত হয়ে নিন।

সার্কুলারের ক্রমিক ০৭ ও ১০ অনুযায়ী পরীক্ষা তিন ধাপের: লিখিত, ব্যবহারিক ও মৌখিক। প্রতিটি ধাপে জাতীয় পরিচয়পত্র (NID)-এর মূল কপি সঙ্গে রাখতে হবে। ‘ব্যবহারিক’ পরীক্ষায় কী হবে সার্কুলারে নেই — সম্ভাব্য হলো কম্পিউটার/স্ক্রিপ্টিং/কনফিগারেশন বা সিমুলেশন-ভিত্তিক কাজ, তাই অধ্যায় ১৪ অবহেলা করবেন না (এটি আমার অনুমান)।

এই নোট দুই ধরনের প্রশ্নের জন্যই তৈরি: **(ক)** MCQ — তাই প্রতিটি অধ্যায়ের শেষে MCQ আছে; **(খ)** ছোট লিখিত/গাণিতিক প্রশ্ন — তাই সূত্র, ধাপে ধাপে সমাধান ও হাতে আঁকার মতো ডায়াগ্রাম আছে। কী লিখতে হবে সেটা কিছুটা প্রযুক্তি-কেন্দ্রিক ইঞ্জিনিয়ারিং ভাবনা — বুয়েটের প্রশ্ন সাধারণত *মুখস্থ নয়, বোঝা* যাচাই করে, তাই "কেন" প্রশ্নের উত্তর বুঝে পড়ুন।

অগ্রাধিকার: কোন টপিক কত গুরুত্বপূর্ণ

সময় কম (আজ ১৪ অক্টোবর, পরীক্ষা ১৬ অক্টোবর), তাই টপিকগুলোকে তিন ভাগে সাজানো হলো। সার্কুলারে প্রতিটি টপিক সমান গুরুত্বে লেখা, কিন্তু একজন ইইই/ইটিই গ্র্যাজুয়েটের জন্য নিচের ক্রম বাস্তবসম্মত:

স্তর	অধ্যায়	কেন
A — সবার আগে	৩, ৪, ৫, ৯, ১০, ১১, ১২	কোর নেটওয়ার্ক, কল ফ্লো, IMS, অথেন্টিকেশন — সার্কুলারের অর্ধেকের বেশি টপিক এখান থেকে
B — এরপর	১, ২, ৬, ৭, ৮, ১৩	রেডিও বেসিক, math (dB, Erlang, link budget), NFV/O-RAN/স্লাইসিং, পাওয়ার
C — স্কোরিং বোনাস	১৪, ১৫, ১৬, ১৭	স্ক্রিপ্টিং, বাংলাদেশ টেলিকম, কমিউনিকেশন, অ্যাপটিটিউড — কম সময়ে নম্বর তোলা যায়

দুই দিনের রুটিন (১৪ ও ১৫ অক্টোবর)

সময়	কী করবেন
১৪ অক্টো — সকাল	অধ্যায় ৩ → ৪ → ৫ (সেলুলার ধারণা, কোর/ব্যাকহোল, প্যাকেট কোর) — প্রতিটির MCQ করুন
১৪ অক্টো — বিকাল	অধ্যায় ৯ → ১০ → ১১ → ১২ (কল ফ্লো, IMS, HSS/AKA) — ডায়াগ্রাম নিজে হাতে এঁকে দেখুন
১৪ অক্টো — রাত	অধ্যায় ১ ও ২ (dB, Shannon, link budget, Erlang সূত্র) — math অনুশীলন
১৫ অক্টো — সকাল	অধ্যায় ৬, ৭, ৮ (NFV, O-RAN, স্লাইসিং) + অধ্যায় ১৩ (পাওয়ার, ব্যাটারি হিসাব)
১৫ অক্টো — বিকাল	অধ্যায় ১৪–১৭ (স্ক্রিপ্টিং, বাংলাদেশ টেলিকম, কমিউনিকেশন, অ্যাপটিটিউড)
১৫ অক্টো — রাত	পরিশিষ্টের মডেল টেস্ট (সময় ধরে), সূত্র ও সংক্ষিপ্ত রূপ তালিকা একবার দেখা, তাড়াতাড়ি ঘুম
১৬ অক্টো — সকাল	শুধু সূত্র-সারসংক্ষেপ ও ডায়াগ্রামগুলোতে চোখ বুলান। নতুন কিছু পড়বেন না

কীভাবে পড়বেন (প্রতিটি অধ্যায়ে)

1. **ধারণা অংশ** একবার পড়ুন — সংজ্ঞা নয়, "এটা কেন দরকার" বুঝুন।
2. **ডায়াগ্রামটি** কাগজে নিজে আঁকুন (বক্স + ইন্টারফেসের নাম)।
3. **সমাধান করা উদাহরণ** ঢেকে রেখে নিজে করুন, তারপর মেলান।
4. **MCQ** করে ভুলগুলো আলাদা খাতায় লিখুন; শেষ রাতে শুধু ওগুলোই দেখুন।

> **MCQ-র সাধারণ কৌশল**
> ইন্টারফেস/নোডের নাম (যেমন S1-MME, N4, Cx, S6a) এবং সংক্ষিপ্ত রূপ আলাদা মুখস্থ রাখুন — এগুলো MCQ-র প্রিয় জায়গা। math-এ ইউনিট (dB বনাম dBm, Mbps বনাম MBps) ভালো করে দেখুন।

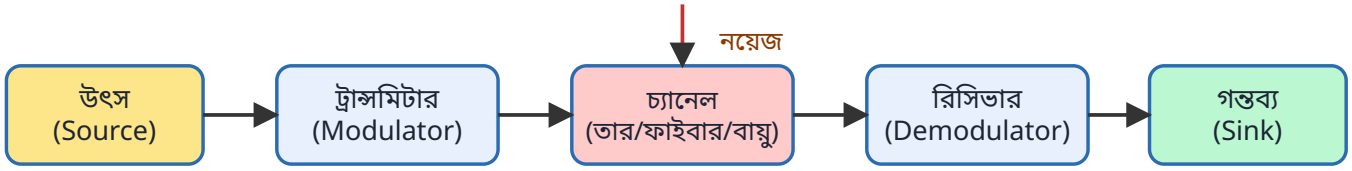
অধ্যায় ১ — টেলিকম বেসিকস

Telecom Basics

এই অধ্যায়টি পুরো কোর্সের ভিত্তি। এখানকার ধারণাগুলো (dB, Erlang, সুইচিং, মাল্টিপ্লেক্সিং) পরের প্রায় সব অধ্যায়ে কাজে লাগবে।

১.১ টেলিকমিউনিকেশন সিস্টেমের মূল কাঠামো

যেকোনো যোগাযোগ ব্যবস্থায় পাঁচটি অংশ থাকে: **উৎস → ট্রান্সমিটার → চ্যানেল (মাধ্যম) → রিসিভার → গন্তব্য**। চ্যানেলে **নয়েজ** যুক্ত হয়ে সিগন্যাল নষ্ট করে। মাধ্যম হতে পারে তার (কপার), অপটিক্যাল ফাইবার বা বায়ু (রেডিও)।



চিত্র ১.১: যোগাযোগ ব্যবস্থার ব্লক ডায়াগ্রাম

১.২ অ্যানালগ বনাম ডিজিটাল এবং PCM

ভয়েস মূলত অ্যানালগ। ডিজিটাল নেটওয়ার্কে পাঠাতে তিনটি ধাপ: **স্যাম্পলিং → কোয়ান্টাইজেশন → এনকোডিং** (একে PCM বলে)।

> **নাইকুইস্ট স্যাম্পলিং থিওরেম**
> সিগন্যালের সর্বোচ্চ ফ্রিকোয়েন্সি f_{max} হলে স্যাম্পলিং রেট অবশ্যই $f_s \geq 2\, f_{max}$ হতে হবে, নইলে aliasing হয়।

উদাহরণ: ভয়েস চ্যানেলের বিটরেট

ভয়েস ব্যান্ড ≈ 0.3–3.4 kHz, ধরা হয় ৪ kHz। স্যাম্পলিং = 2 × 4 = **8 kHz** (৮০০০ নমুনা/সেকেন্ড)। প্রতি নমুনা ৮ বিট হলে:

$$\text{বিটরেট} = 8000 \times 8 = \mathbf{64\ kbps}\ (\text{এটাই DS0})$$

এক E1 লাইনে ৩২ টাইমস্লট: 32 × 64 kbps = **2.048 Mbps** (৩০টি ভয়েস + ১টি ফ্রেম সিঙ্ক + ১টি সিগন্যালিং)। T1 = 24 × 64 + 8 kbps = **1.544 Mbps**।

১.৩ ডেসিবেল (dB) — টেলিকমের সবচেয়ে দরকারি গণিত

সিগন্যালের মান খুব ছোট-বড় হয় (মিলিওয়াট থেকে কিলোওয়াট), তাই লগারিদম স্কেল ব্যবহার হয়।

$$dB = 10 \log_{10}(P_2 / P_1) \quad | \quad dBm = 10 \log_{10}(P / 1\ mW) \quad | \quad dBW = 10 \log_{10}(P / 1\ W)$$

পাওয়ার অনুপাত	dB	মনে রাখার কৌশল
২ গুণ	+3 dB	×2 = +3 dB, ÷2 = −3 dB
১০ গুণ	+10 dB	×10 = +10 dB
১০০ গুণ	+20 dB	×100 = +20 dB
১০০০ গুণ	+30 dB	1 W = 30 dBm (কারণ 1 W = 1000 mW)
৪ গুণ	+6 dB	3+3
৫ গুণ	≈ +7 dB	10 − 3

নিয়ম: dBm + dB = dBm (গেইন/লস যোগ-বিয়োগ চলে); dBm − dBm = dB; dBm + dBm সরাসরি যোগ করা যায় না (আগে mW করে যোগ করতে হয়)। ভোল্টেজ/কারেন্টের ক্ষেত্রে 20 log।

উদাহরণ: 40 W কত dBm?
40 W = 40,000 mW → 10 log(40000) = 10 × 4.602 = **46.02 dBm**। চটজলদি: 40 = 4×10 → 6 + 10 = 16 dBW → 16 + 30 = 46 dBm ✔

উদাহরণ: পাওয়ার যোগ
-30 dBm আর -30 dBm যোগ করলে? প্রতিটি 1 μW; মোট 2 μW → -30 + 3 = **-27 dBm** (-60 নয়)।

১.৪ নয়েজ ও Shannon ক্যাপাসিটি

থার্মাল নয়েজ ফ্লোর: **N = kTB**। কক্ষ তাপমাত্রায় (290 K):

$$N\ (\text{dBm}) = -174 + 10\log_{10}(B_{Hz}) + NF$$
$$\text{SNR}\ (\text{dB}) = P_{rx}\ (\text{dBm}) - N\ (\text{dBm})$$

এখানে −174 dBm/Hz হলো নয়েজ ডেনসিটি এবং NF হলো রিসিভারের Noise Figure।

Shannon-Hartley উপপাদ্য

কোনো চ্যানেলে ত্রুটিহীন সর্বোচ্চ ডেটারেট:

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR}) \quad [\text{bps}]$$

এখানে SNR রৈখিক (linear) অনুপাত, dB নয়। B বাড়ালে বা SNR বাড়ালে C বাড়ে — 5G-তে তাই চওড়া ব্যান্ডউইথ ও MIMO দরকার।

উদাহরণ: 20 MHz চ্যানেলে Shannon ক্যাপাসিটি
SNR = 15 dB → linear = $10^{1.5}$ = 31.62।
C = $20\times10^6 \times \log_2(1 + 31.62) = 20\times10^6 \times \log_2(32.62) = 20\times10^6 \times 5.03 \approx$ **100.6 Mbps**।
নয়েজ ফ্লোর: −174 + 10 log(20×10^6) = −174 + 73.01 = **−100.99 dBm**; NF = 7 dB হলে **−93.99 ≈ −94 dBm**।

১.৫ সুইচিং: সার্কিট বনাম প্যাকেট

বিষয়	সার্কিট সুইচিং (PSTN, 2G CS)	প্যাকেট সুইচিং (IP, 4G/5G)
পথ	কল শুরুতে ডেডিকেটেড পথ/রিসোর্স বরাদ্দ	প্রতিটি প্যাকেট স্বাধীনভাবে রাউট হয়
রিসোর্স ব্যবহার	চুপ থাকলেও রিসোর্স আটকে থাকে (অপচয়)	স্ট্যাটিস্টিক্যাল মাল্টিপ্লেক্সিং — দক্ষ
ডিলে	স্থির ও কম, জিটার নেই	ভ্যারিয়েবল ডিলে ও জিটার (QoS লাগে)
ব্যর্থতা	পথ ভাঙলে কল কেটে যায়	বিকল্প পথ খুঁজে নেয়
উপযোগী	ট্র্যাডিশনাল ভয়েস	ডেটা, VoIP/VoLTE, ভিডিও
উদাহরণ প্রোটোকল	SS7/ISUP	IP, SIP, GTP

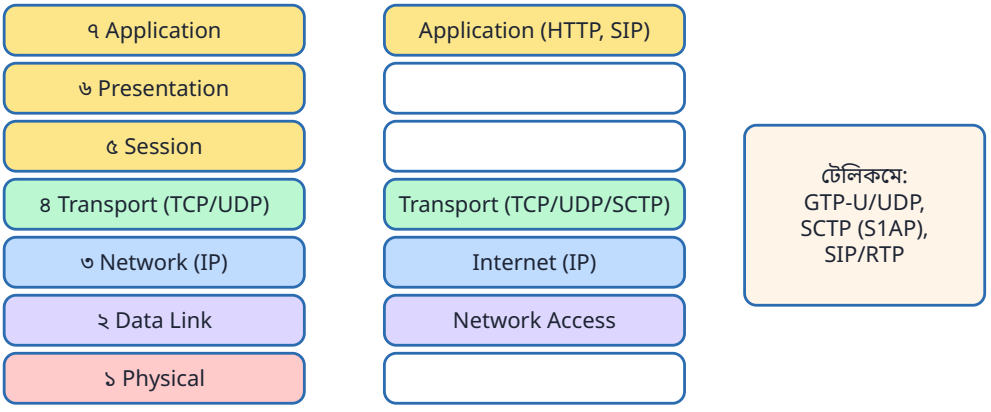
১.৬ মাল্টিপ্লেক্সিং ও ট্রান্সপোর্ট

- **FDM** — ফ্রিকোয়েন্সি ভাগ করে (রেডিও/টিভি চ্যানেল)।
- **TDM** — সময়ের স্লট ভাগ করে (E1, SDH, GSM)।
- **WDM** — একই ফাইবারে ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো (CWDM/DWDM)।

SDH লেভেল	বিটরেট	মনে রাখুন
STM-1	155.52 Mbps	= ৬৩ × E1 (2.048)
STM-4	622.08 Mbps	4 × STM-1
STM-16	2.488 Gbps	16 × STM-1
STM-64	9.953 Gbps	64 × STM-1

অপটিক্যাল ফাইবার: Single-mode (SMF, কোর ≈ 9 µm, দূরপাল্লা; 1310/1550 nm) এবং Multi-mode (MMF, কোর 50/62.5 µm, স্বল্প দূরত্ব)। 1550 nm-এ attenuation সবচেয়ে কম (~0.2 dB/km)। অপটিক্যাল লিংক বাজেট: $P_{rx} = P_{tx} - (\alpha \cdot L + \text{কানেক্টর লস} + \text{স্প্লাইস লস})$।

১.৭ OSI ও TCP/IP মডেল



চিত্র ১.২: OSI বনাম TCP/IP স্তর

- **TCP** — নির্ভরযোগ্য, কানেকশন-ভিত্তিক (ডেটা/HTTP); **UDP** — দ্রুত, নির্ভরযোগ্যতা নেই (ভয়েস RTP, GTP-U); **SCTP** — সিগন্যালিং-এর জন্য (S1AP, NGAP, Diameter)।

উদাহরণ: IPv4 সাবনেটিং

192.168.10.0/26 → সাবনেট মাস্ক 255.255.255.192; হোস্ট বিট = 32 − 26 = 6; মোট অ্যাড্রেস = 2^6 = 64; ব্যবহারযোগ্য হোস্ট = 64 − 2 = **62**। নেটওয়ার্ক = .0, ব্রডকাস্ট = .63, রেঞ্জ .1–.62। IPv6 = 128 বিট; মোবাইল কোরে IPv6 গুরুত্বপূর্ণ কারণ IPv4 ফুরিয়ে আসছে।

১.৮ সিগন্যালিং প্রোটোকল — কে কোথায়

প্রোটোকল	কাজ	কোথায় ব্যবহৃত
SS7 (MTP, SCCP, ISUP, TCAP/MAP)	ট্র্যাডিশনাল সিগন্যালিং	2G/3G CS কোর, HLR-এর সাথে (MAP)
Diameter	AAA, সাবস্ক্রাইবার ডেটা, চার্জিং	4G: S6a, Gx, Rx; IMS: Cx
SIP	সেশন নিয়ন্ত্রণ	IMS/VoLTE
GTP (GTP-C / GTP-U)	টানেলিং (কন্ট্রোল / ইউজার প্লেন)	S11, S5/S8, S1-U, N3
S1AP / NGAP	RAN–কোর সিগন্যালিং	S1-MME / N2
NAS (EMM/ESM, 5GMM/5GSM)	UE–কোর সিগন্যালিং	UE ↔ MME/AMF
PFCP	কন্ট্রোল-ইউজার প্লেন বিভাজন	N4 (SMF–UPF), Sxa/Sxb
HTTP/2 + JSON	সার্ভিস-ভিত্তিক ইন্টারফেস	5GC SBA

১.৯ নেটওয়ার্ক পারফরম্যান্স (QoS ও KPI)

- **Throughput** (থ্রুপুট), **Latency** (ডিলে), **Jitter** (ডিলের ওঠানামা), **Packet loss**।
- **CSSR** (Call Setup Success Rate), **CDR/DCR** (Call/Drop Rate), **HOSR** (Handover Success Rate), **RRC/E-RAB Setup Success Rate**, **PRB utilization**, সাইট **Availability**।
- ভয়েসের জন্য: ডিলে < 150 ms (এক দিকে), loss < 1%; MOS স্কেল ১–৫ (৪+ ভালো)।

উদাহরণ: Erlang — ট্রাফিকের একক

১ Erlang = একটি চ্যানেলের ১০০% সময় ব্যস্ত থাকা।

$$A = \lambda \times h$$

λ = প্রতি ঘণ্টায় কল সংখ্যা, h = গড় কল সময় (ঘণ্টায়)। ঘণ্টায় 1200 কল, গড় 3 মিনিট → A = 1200 × (3/60) = **60 Erlang**। (বিস্তারিত অধ্যায় ৩-এ)

অনুশীলনী (MCQ)

1. ৪ kHz ভয়েস সিগন্যাল PCM করলে (৮ বিট/নমুনা) বিটরেট কত?

(ক) 32 kbps
(খ) 64 kbps
(গ) 128 kbps
(ঘ) 2.048 Mbps

উত্তর: (খ) — fs = 8 kHz, 8 বিট → 64 kbps (DS0)।

2. 1 W পাওয়ার কত dBm?

(ক) 0 dBm
(খ) 10 dBm
(গ) 30 dBm
(ঘ) 3 dBm

উত্তর: (গ) — 1 W = 1000 mW → 10 log 1000 = 30 dBm।

3. −30 dBm + −30 dBm = ?

(ক) −60 dBm
(খ) −27 dBm
(গ) −33 dBm
(ঘ) −15 dBm

উত্তর: (খ) — দ্বিগুণ পাওয়ার = +3 dB।

4. Shannon ক্যাপাসিটির সূত্রে SNR কোন আকারে বসে?

(ক) dB-তে
(খ) রৈখিক (linear) অনুপাতে
(গ) dBm-এ
(ঘ) নেপারে

উত্তর: (খ) — $C = B \log_2(1+SNR)$, SNR linear।

5. E1 লাইনের বিটরেট কত?

(ক) 1.544 Mbps
(খ) 2.048 Mbps
(গ) 34 Mbps
(ঘ) 155 Mbps

উত্তর: (খ) — 32 × 64 kbps = 2.048 Mbps। 1.544 হলো T1।

6. STM-1 এর বিটরেট কত?

(ক) 51.84 Mbps
(খ) 155.52 Mbps
(গ) 622.08 Mbps
(ঘ) 2.048 Mbps

উত্তর: (খ) — STM-1 = 155.52 Mbps ≈ ৬৩ E1।

7. কোনটি সার্কিট সুইচিং-এর বৈশিষ্ট্য?

(ক) কলের সময় ডেডিকেটেড রিসোর্স
(খ) প্রতিটি প্যাকেট আলাদা রাউট
(গ) স্ট্যাটিস্টিক্যাল মাল্টিপ্লেক্সিং
(ঘ) জিটার বেশি

উত্তর: (ক) — সার্কিট সুইচিং-এ কলের জন্য রিসোর্স আগেই বরাদ্দ হয়।

8. 20 MHz ব্যান্ডউইথে থার্মাল নয়েজ ফ্লোর (NF = 0) প্রায় কত?

(ক) −174 dBm
(খ) −101 dBm
(গ) −94 dBm
(ঘ) −80 dBm

উত্তর: (খ) — −174 + 73 = −101 dBm।

9. কোন প্রোটোকল সাধারণত S1-MME ইন্টারফেসে ব্যবহৃত হয়?

(ক) GTP-U
(খ) S1AP over SCTP
(গ) SIP
(ঘ) PFCP

উত্তর: (খ) — S1-MME = S1AP/SCTP।

10. /26 সাবনেটে ব্যবহারযোগ্য হোস্ট সংখ্যা?

(ক) 64
(খ) 62
(গ) 30
(ঘ) 126

উত্তর: (খ) — $2^6 - 2 = 62$।

11. কোন মাল্টিপ্লেক্সিং-এ একই ফাইবারে ভিন্ন রঙের আলো পাঠানো হয়?

(ক) TDM (খ) FDM

(গ) WDM (ঘ) CDM

উত্তর: (গ) — WDM = Wavelength Division Multiplexing।

12. নাইকুইস্ট অনুযায়ী 20 kHz অডিও স্যাম্পল করতে ন্যূনতম রেট?

(ক) 20 kHz (খ) 40 kHz

(গ) 10 kHz (ঘ) 80 kHz

উত্তর: (খ) — $f_s \geq 2 f_{max} = 40$ kHz।

অধ্যায় ২ — রেডিও কমিউনিকেশন বেসিকস

Radio Communication Basics

২.১ ইলেকট্রোম্যাগনেটিক স্পেকট্রাম ও তরঙ্গ

রেডিও তরঙ্গ আলোর গতিতে ($c = 3\times10^8$ m/s) চলে। ফ্রিকোয়েন্সি (f) ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) সম্পর্ক:

$$\lambda = c / f$$

উদাহরণ: 1800 MHz-এর λ ও কোয়ার্টার-ওয়েভ অ্যান্টেনা

$\lambda = 3\times10^8 / 1.8\times10^9 =$ **0.1667 m = 16.7 cm**; কোয়ার্টার-ওয়েভ = $\lambda/4 \approx$ **4.17 cm**। ফ্রিকোয়েন্সি যত বেশি, অ্যান্টেনা তত ছোট, কিন্তু কভারেজ ও দেয়াল ভেদ করার ক্ষমতা কমে।

ব্যান্ড	ফ্রিকোয়েন্সি	নাম/ব্যবহার
VHF / UHF	30–300 MHz / 0.3–3 GHz	FM, টিভি, মোবাইল (UHF-এ)
Low band (sub-1 GHz)	700/800/900 MHz	বেশি কভারেজ, ভালো ইনডোর — গ্রামীণ
Mid band	1.8, 2.1, 2.3, 2.6 GHz	কভারেজ + ক্যাপাসিটির ভারসাম্য (3G/4G)
C-band / 3.5 GHz	3.3–3.8 GHz (n78)	5G-র মূল মিড-ব্যান্ড
mmWave (FR2)	24–52 GHz	অতি-উচ্চ গতি, স্বল্প রেঞ্জ

প্রচলিত GSM ব্যান্ড: **GSM-900** (UL 890–915, DL 935–960 MHz; duplex gap 45 MHz); **GSM-1800/DCS** (UL 1710–1785, DL 1805–1880; gap 95 MHz); **UMTS-2100** (UL 1920–1980, DL 2110–2170); **LTE B40** 2300–2400 TDD; **LTE B7** 2600 FDD।

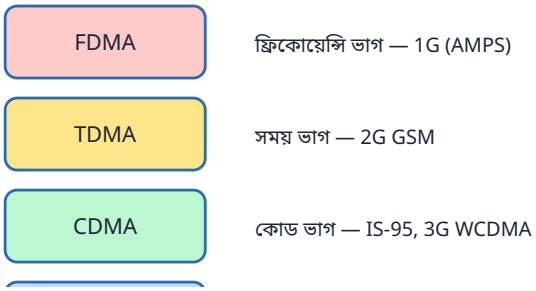
২.২ বেসব্যান্ড ও মডুলেশন

ডেটাকে (বেসব্যান্ড) ক্যারিয়ার তরঙ্গে চাপানোর নাম **মডুলেশন**: অ্যামপ্লিচিউড (ASK), ফ্রিকোয়েন্সি (FSK), ফেজ (PSK) বা অ্যামপ্লিচিউড+ফেজ (QAM) বদলিয়ে।

স্কিম	বিট/সিম্বল	ব্যবহার	বৈশিষ্ট্য
BPSK	1	খুব দুর্বল সিগন্যালে	সবচেয়ে মজবুত, কম গতি
QPSK	2	LTE/NR কন্ট্রোল, কভারেজ-এজ	মজবুত
16-QAM	4	মধ্যম SINR	—
64-QAM	6	ভালো সিগন্যাল	—
256-QAM	8	খুব ভালো SINR (সাইটের কাছে)	বেশি SNR লাগে
GMSK	1 (বিশেষ)	GSM	কনস্ট্যান্ট এনভেলপ, কম ব্যান্ড-বহির্ভূত নির্গমন

অ্যাডাপটিভ মডুলেশন ও কোডিং (AMC): সিগন্যাল ভালো থাকলে উঁচু ক্রমের QAM, খারাপ হলে QPSK — তাই ইউজার সাইটের কাছে থাকলে স্পিড বেশি। **সূত্র:** বিটরেট ≈ সিম্বলরেট × $\log_2 M$ × কোডরেট।

২.৩ মাল্টিপল অ্যাক্সেস



চিত্র ২.১: মাল্টিপল অ্যাক্সেস পদ্ধতি

পদ্ধতি	ভাগ হয়	কোথায়	মূল সুবিধা/সমস্যা
FDMA	ফ্রিকোয়েন্সি	1G	সহজ; গার্ড ব্যান্ডে অপচয়
TDMA	টাইম স্লট	GSM (৮ স্লট, ২০০ kHz)	ডিজিটাল, সিঙ্ক দরকার
CDMA	স্প্রেডিং কোড	IS-95, WCDMA	soft handover, ফ্রিকোয়েন্সি রিইউজ ১; near-far সমস্যা → পাওয়ার কন্ট্রোল
OFDMA	সাবক্যারিয়ার × সময়	LTE DL, 5G NR	মাল্টিপাথ প্রতিরোধী, নমনীয়
SC-FDMA	সিঙ্গেল ক্যারিয়ার	LTE UL	কম PAPR → মোবাইলের ব্যাটারি সাশ্রয়

উদাহরণ: GSM TDMA হিসাব

GSM ফ্রেম = ৮ স্লট = 4.615 ms; এক স্লট = 577 µs = 156.25 বিট।

গ্রস রেট = 156.25 × 8 / 4.615 ms = **270.8 kbps** প্রতি ২০০ kHz ক্যারিয়ারে। একটি 25 MHz ব্যান্ডে 25 MHz/200 kHz = 125 ক্যারিয়ার (১২৪টি ব্যবহারযোগ্য) ⇒ 124 × 8 = **৯৯২ ফুল-রেট চ্যানেল**।

উদাহরণ: WCDMA প্রসেসিং গেইন

Chip rate = 3.84 Mcps; ভয়েস = 12.2 kbps। $G_p = 3.84\times10^6 / 12.2\times10^3 = 314.8 \rightarrow 10\log(314.8) = \approx$ **25 dB**। প্রসেসিং গেইন বেশি মানে ইন্টারফারেন্সের মধ্যেও ডিকোড সম্ভব।

২.৪ OFDM — 4G/5G-এর হৃদয়

একটি চওড়া চ্যানেলকে অনেক সরু, পরস্পর **অর্থোগোনাল** সাবক্যারিয়ারে ভাগ করা হয়। প্রতিটি সাবক্যারিয়ারে ধীর গতির সিম্বল যায়, ফলে multipath delay spread-এর প্রভাব কমে। **Cyclic Prefix (CP)** ISI ঠেকায়।

LTE প্যারামিটার

সাবক্যারিয়ার স্পেসিং = **15 kHz**; সিম্বল সময় = 1/15kHz = 66.7 µs; 1 Resource Block (RB) = 12 সাবক্যারিয়ার = 180 kHz; 1 সাবফ্রেম = 1 ms = 14 OFDM সিম্বল (normal CP); 20 MHz = **100 RB = 1200 সাবক্যারিয়ার**; ফ্রেম = 10 ms।

উদাহরণ: LTE 20 MHz-এর তাত্ত্বিক পিক ডেটারেট

প্রতি সেকেন্ডে RE = 1200 × 14 × 1000 = 16.8 মিলিয়ন। 64-QAM (6 বিট) হলে = $16.8\times10^6 \times 6$ = **100.8 Mbps** (১ লেয়ার, ওভারহেড ছাড়া)। 4×4 MIMO (৪ লেয়ার) ⇒ ≈ **403 Mbps**। বাস্তবে কন্ট্রোল/রেফারেন্স সিগন্যাল ওভারহেডের কারণে ≈ 300 Mbps (LTE Cat-6/9 ধারে কাছে)।

5G NR নিউমারোলজি

SCS = $15 \times 2^{\mu}$ kHz; slot সময় = 1 ms / 2^{μ}; প্রতি slot-এ ১৪ সিম্বল। μ=0 (15 kHz), 1 (30 kHz — 3.5 GHz-এ প্রচলিত), 2 (60), 3 (120 kHz — mmWave), 4 (240)। ম্যাক্স চ্যানেল BW: FR1 100 MHz, FR2 400 MHz। FR1 ≈ 410 MHz–7.125 GHz; FR2 ≈ 24.25–52.6 GHz।

২.৫ অ্যান্টেনা ও EIRP

- **dBi** = আইসোট্রপিক অ্যান্টেনার তুলনায় গেইন; **dBd** = ডাইপোলের তুলনায়; `dBi = dBd + 2.15`।
- **EIRP = $P_{tx} - L_{cable} + G_{tx}$** (dBm)।
- **সেক্টরাইজেশন:** ১২০° অ্যান্টেনা দিয়ে সাইটকে ৩ সেক্টরে ভাগ — ইন্টারফারেন্স কমে, ক্যাপাসিটি বাড়ে।
- **ডাউনটিল্ট:** বিমকে একটু নিচে ঝুঁকিয়ে কভারেজ সীমিত ও পাশের সেলে ইন্টারফারেন্স কমানো (ইলেকট্রিক্যাল + মেকানিক্যাল)।
- **ডাইভার্সিটি/MIMO:** একাধিক অ্যান্টেনায় ফেডিং-এর প্রভাব কমে; SU-MIMO গতি বাড়ায়, MU-MIMO একসাথে একাধিক ইউজার সার্ভ করে; **Massive MIMO** (৬৪T64R ইত্যাদি) + **beamforming** 5G-র মূল শক্তি।

$$\text{MIMO ক্যাপাসিটি} \approx \min(N_t, N_r) \times B \log_2(1 + SNR)$$

২.৬ রেডিও প্রচার (Propagation) ও পাথ লস

সিগন্যাল দূরত্বের সাথে তিন ধরনের ক্ষয় পায়: (১) **পাথ লস** (দূরত্ব), (২) **শ্যাডোয়িং** (ভবন/গাছ, লগ-নরমাল, ধীর), (৩) **মাল্টিপাথ ফেডিং** (দ্রুত, Rayleigh/Rician)।

ফ্রি-স্পেস পাথ লস (FSPL)

$$\text{FSPL (dB)} = 32.44 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz})$$

দূরত্ব দ্বিগুণ হলে +6 dB; ফ্রিকোয়েন্সি দ্বিগুণ হলে +6 dB।

উদাহরণ: 2 km দূরত্বে 1800 MHz-এর FSPL

= 32.44 + 20 log(2) + 20 log(1800) = 32.44 + 6.02 + 65.11 = **103.57 dB**।

Okumura–Hata মডেল (শহুরে, 150–1500 MHz)

$$L \text{ (dB)} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d$$

f = MHz, h_b = বেস অ্যান্টেনা উচ্চতা (m), d = km, $a(h_m)$ = মোবাইল-উচ্চতা সংশোধন (ছোট/মাঝারি শহরে $a = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$)। সাবআর্বান/রুরালে অতিরিক্ত বিয়োজন প্রযোজ্য।

উদাহরণ: Hata

f = 900 MHz, h_b = 50 m, h_m = 1.5 m, d = 5 km → $a(h_m) \approx 0.016$ dB। L = 69.55 + 26.16×2.954 − 13.82×1.699 − 0.016 + (44.9 − 6.55×1.699)×0.699 = **≈ 146.9 dB**।

ডপলার শিফট ও কোহেরেন্স

$$f_d = v \cdot f / c$$

উদাহরণ: ডপলার

ট্রেন 100 km/h (= 27.78 m/s), f = 2 GHz → $f_d = 27.78 \times 2\times10^9 / 3\times10^8 \approx$ **185 Hz**। OFDM-এ সাবক্যারিয়ার স্পেসিং (15 kHz) ডপলার-এর চেয়ে অনেক বড় থাকতে হয়।

Coherence bandwidth $B_c \approx 1/(5\sigma_\tau)$ (σ_τ = RMS delay spread)। যদি সিগন্যাল BW > B_c → frequency-selective fading (OFDM এটি সামলায়)।

২.৭ লিংক বাজেট

একটি রেডিও লিংকে লাভ ও ক্ষতি যোগ-বিয়োগ করে রিসিভড পাওয়ার ও মার্জিন বের করা হয়।

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - L_{cable} - PL - L_{other} + G_{rx} \quad (\text{dBm})$$
$$\text{Link Margin} = P_{rx} - \text{Receiver Sensitivity}$$

উদাহরণ: ডাউনলিংক বাজেট

Tx = 43 dBm (20 W), অ্যান্টেনা গেইন = 15 dBi, ক্যাবল লস = 2 dB, পাথ লস = 120 dB, বডি লস = 3 dB, UE গেইন = 0 dBi।

P_{rx} = 43 + 15 − 2 − 120 − 3 + 0 = **−67 dBm**। নয়েজ (20 MHz, NF 7 dB) = −94 dBm ⇒ SNR = −67 − (−94) = **27 dB**। যদি UE sensitivity −100 dBm হয় তবে ফেড মার্জিন = −67 − (−100) = **33 dB**।

২.৮ ডুপ্লেক্স: FDD বনাম TDD

	FDD	TDD
UL/DL	আলাদা ফ্রিকোয়েন্সি জোড়া	একই ফ্রিকোয়েন্সি, আলাদা সময়
সুবিধা	কম ডিলে, সমান UL/DL, বড় সেল	UL:DL অনুপাত বদলানো যায়, চ্যানেল রেসিপ্রোসিটি (massive MIMO-র জন্য ভালো)
সমস্যা	স্পেকট্রাম জোড়া লাগে	গার্ড পিরিয়ড, সিঙ্ক জরুরি, সেল ব্যাসার্ধ সীমিত
উদাহরণ	GSM, LTE B1/B3/B7	LTE B40/B41, 5G n78

অনুশীলনী (MCQ)

1. 1800 MHz তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

(ক) 16.7 cm (খ) 33 cm
(গ) 1.67 m (ঘ) 6 cm

উত্তর: (ক) — $\lambda = c/f = 3\times10^8/1.8\times10^9 = 0.167$ m।

2. কোন মডুলেশন প্রতি সিম্বলে ৬ বিট বহন করে?

(ক) QPSK
(খ) 16-QAM
(গ) 64-QAM
(ঘ) 256-QAM

উত্তর: (গ) — 64 = 2^6।

3. GSM-এ একটি ক্যারিয়ারে (200 kHz) কয়টি টাইম স্লট?

(ক) 4
(খ) 8
(গ) 16
(ঘ) 32

উত্তর: (খ) — ৮ স্লট, ফ্রেম 4.615 ms।

4. LTE-তে সাবক্যারিয়ার স্পেসিং কত?

(ক) 7.5 kHz
(খ) 15 kHz
(গ) 30 kHz
(ঘ) 60 kHz

উত্তর: (খ) — LTE = 15 kHz; 5G-তে 15×2^μ।

5. 20 MHz LTE চ্যানেলে RB সংখ্যা?

(ক) 50
(খ) 75
(গ) 100
(ঘ) 110

উত্তর: (গ) — 100 RB = 1200 সাবক্যারিয়ার।

6. দূরত্ব দ্বিগুণ করলে ফ্রি-স্পেস পাথ লস কত বাড়ে?

(ক) 3 dB
(খ) 6 dB
(গ) 10 dB
(ঘ) 20 dB

উত্তর: (খ) — 20 log 2 = 6 dB।

7. LTE আপলিংকে কোন অ্যাক্সেস ব্যবহৃত হয়?

(ক) OFDMA
(খ) SC-FDMA
(গ) CDMA
(ঘ) TDMA

উত্তর: (খ) — কম PAPR-এর জন্য।

8. 5G NR-এ 30 kHz SCS-এ slot সময়?

(ক) 1 ms
(খ) 0.5 ms
(গ) 0.25 ms
(ঘ) 2 ms

উত্তর: (খ) — μ=1 → 1ms/2 = 0.5 ms।

9. WCDMA-র chip rate?

(ক) 1.2288 Mcps
(খ) 3.84 Mcps
(গ) 270.8 kcps
(ঘ) 5 Mcps

উত্তর: (খ) — UMTS = 3.84 Mcps (IS-95 = 1.2288)।

10. 100 km/h বেগে 2 GHz-এ প্রায় ডপলার শিফট?

(ক) 18.5 Hz
(খ) 185 Hz
(গ) 1.85 kHz
(ঘ) 18.5 kHz

উত্তর: (খ) — fd = vf/c ≈ 185 Hz।

11. Massive MIMO-র জন্য কোন ডুপ্লেক্স সুবিধাজনক (চ্যানেল রেসিপ্রোসিটি)?

(ক) FDD
(খ) TDD
(গ) দুটোই সমান
(ঘ) কোনটিই নয়

উত্তর: (খ) — TDD-তে UL/DL একই ফ্রিকোয়েন্সি, তাই চ্যানেল অনুমান সহজ।

12. Tx 43 dBm, গেইন 15 dBi, লস মোট 125 dB (ক্যাবল+পাথ+অন্যান্য), UE গেইন 0 → P_rx?

(ক) −67 dBm
(খ) −82 dBm
(গ) −55 dBm
(ঘ) −110 dBm

উত্তর: (ক) — 43+15−125 = −67 dBm।

অধ্যায় ৩ — সেলুলার নেটওয়ার্কের মূল ধারণা

Basic Concept of Cellular Networks

৩.১ সেলুলার ধারণা — কেন দরকার?

একটি বিশাল টাওয়ার দিয়ে পুরো শহর কভার করলে ফ্রিকোয়েন্সি মাত্র একবার ব্যবহার হয় — ইউজার ধরবে হাতে গোনা। সেলুলার আইডিয়া (Bell Labs, ১৯৭০-এর দশক): এলাকাকে **ছোট ছোট সেলে** ভাগ করুন, প্রতিটিতে কম পাওয়ারের বেস স্টেশন বসান, এবং **একই ফ্রিকোয়েন্সি দূরের সেলে আবার ব্যবহার** করুন (frequency reuse)। এতে সীমিত স্পেকট্রামে বিপুল ইউজার সার্ভ করা যায়।

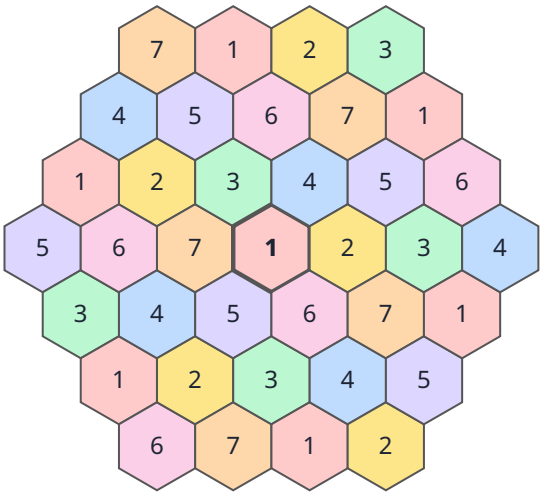
> **মূল শব্দ**
> **Cell** = একটি বেস স্টেশনের কভারেজ এলাকা (তাত্ত্বিকভাবে ষড়ভুজ)। **Cluster** = যে N সংখ্যক সেল মিলে পুরো উপলব্ধ ফ্রিকোয়েন্সি একবার ব্যবহার করে। **Co-channel cell** = একই ফ্রিকোয়েন্সি ব্যবহার করা অন্য সেল। **Handover** = কল চলাকালীন এক সেল থেকে অন্য সেলে সার্ভিস স্থানান্তর।

৩.২ ফ্রিকোয়েন্সি রিইউজ ও ক্লাস্টার

ষড়ভুজ জ্যামিতিতে ক্লাস্টার সাইজ শুধু নির্দিষ্ট মানই নিতে পারে:

$$N = i^2 + i \cdot j + j^2 \quad (i, j = \text{অঋণাত্মক পূর্ণসংখ্যা})$$

(i, j)	N	রিইউজ ফ্যাক্টর
(1,0)	1	1 (CDMA/OFDMA-তে)
(1,1)	3	1/3
(2,0)	4	1/4
(2,1)	7	1/7 (GSM-এ সাধারণ)
(3,0)	9	1/9
(2,2)	12	1/12



চিত্র ৩.১: N = 7 ক্লাস্টার — একই নম্বরের সেল একই ফ্রিকোয়েন্সি সেট ব্যবহার করে (মাঝের সেলটি মোটা বর্ডার)

রিইউজ দূরত্ব

$$D / R = \sqrt{(3N)} = Q \quad \text{(co-channel reuse ratio)}$$

D = দুই কো-চ্যানেল সেল কেন্দ্রের দূরত্ব, R = সেল ব্যাসার্ধ। N যত বড়, Q তত বড়, ইন্টারফারেন্স কম — কিন্তু প্রতি সেলে চ্যানেল কমে যায় (ক্যাপাসিটি ↓)। এই **ট্রেড-অফ** বুঝতে হবে।

উদাহরণ: N = 7 হলে Q?
Q = √(3×7) = √21 = **4.583**। যদি R = 2 km হয়, D = 4.583×2 = **9.17 km**।

৩.৩ SIR (Signal-to-Interference Ratio)

প্রথম স্তরে ৬টি কো-চ্যানেল ইন্টারফেরার ধরলে (ষড়ভুজ বিন্যাস), পাথ-লস এক্সপোনেন্ট n হলে:

$$S / I \approx (D/R)^n / 6 = (\sqrt{(3N)})^n / 6$$

উদাহরণ: SIR হিসাব (n = 4)
N = 7: $(4.583)^4 = 441 \rightarrow 441/6 = 73.5 \rightarrow 10 \log(73.5) =$ **18.7 dB**।
N = 3: $(3)^4 = 81 \rightarrow 81/6 = 13.5 \rightarrow$ **11.3 dB**।
N = 4: $12^2/6 = 144/6 = 24 \rightarrow$ **13.8 dB**।
GSM-এ ভয়েস মানের জন্য ≈ 9–12 dB SIR লাগে, তাই N = 7 নিরাপদ (সেক্টরাইজেশন থাকলে N = 4/3 ও চলে)। LTE-তে N = 1 (সব সেলে একই ফ্রিকোয়েন্সি) + ICIC/eICIC দিয়ে ইন্টারফারেন্স সামলানো হয়।

৩.৪ ক্যাপাসিটি বাড়ানোর উপায়

কৌশল	কীভাবে কাজ করে	ফল
Cell splitting	সেলকে ছোট সেলে ভাগ; পাওয়ার কমানো	প্রতি এলাকায় চ্যানেল ↑ — ঘন শহরে
Sectoring	ওমনি → ৩ × 120° সেক্টর	ইন্টারফেরার ৬ → ২ (প্রায়), SIR ↑
Micro/Pico/Femto সেল	ছোট স্টেশন (hot spot, ইনডোর)	ক্যাপাসিটি ও ইনডোর কভারেজ
Frequency reuse ↓ (N ↓)	ক্লাস্টার ছোট	প্রতি সেলে চ্যানেল ↑ কিন্তু ইন্টারফারেন্স ↑
Carrier aggregation, MIMO, উচ্চ QAM	স্পেকট্রাল এফিশিয়েন্সি ↑	LTE-A/5G গতি

উদাহরণ: Cell splitting — ক্যাপাসিটি
সেল ব্যাসার্ধ অর্ধেক (R → R/2) করলে একই এলাকায় সেল সংখ্যা ৪ গুণ (এলাকা ∝ R^2) ⇒ ক্যাপাসিটি প্রায় ৪ গুণ। নতুন সেলের Tx পাওয়ার প্রায় $P/2^n$; n = 4 হলে P/16 (= −12 dB) রাখলে পাথলস সমান থাকে।

৩.৫ ট্রাফিক ইঞ্জিনিয়ারিং — Erlang

Erlang B (blocked calls cleared): কোনো চ্যানেল ফাঁকা না থাকলে কল বাতিল। **Erlang C** (blocked calls delayed): কল কিউতে অপেক্ষা করে (কল সেন্টার)। সূত্র (m চ্যানেল, E = অফারড ট্রাফিক):

$$P_B = B(E, m) = (E^m / m!) / \Sigma_{k=0..m} (E^k / k!)$$
$$\text{রিকার্শন: } B(E,0)=1; \quad B(E,m) = E \cdot B(E,m-1) / (m + E \cdot B(E,m-1))$$

GoS (Grade of Service) = ব্লকিং সম্ভাবনা; টেলিকমে 1–2% সাধারণ। Busy Hour-এর ট্রাফিক ধরে ডিজাইন করা হয়।

চ্যানেল (m)	GoS 1%-এ সর্বোচ্চ ট্রাফিক (Erlang)	GoS 2%-এ
5	1.36	1.66
10	4.46	5.08
20	12.03	13.18
30	20.34	21.93
40	29.01	31.0

লক্ষ্য করুন: চ্যানেল দ্বিগুণ হলে ট্রাফিক দ্বিগুণের চেয়ে বেশি বাড়ে (**trunking efficiency**) — বড় চ্যানেল-পুল বেশি দক্ষ।

উদাহরণ: কতজন ইউজার?

প্রতি সেলে 30 চ্যানেল, GoS = 2%। টেবিল থেকে ক্যাপাসিটি ≈ 21.93 Erlang। প্রতি ইউজার ব্যস্ত ঘণ্টায় 25 mErlang (0.025 E) ট্রাফিক দিলে ইউজার = 21.93 / 0.025 ≈ **877 জন**।

উদাহরণ: ব্লকিং সম্ভাবনা বের করা

E = 10 Erlang, m = 15 চ্যানেল → রিকার্শনে B ≈ **0.0365 (3.65%)**। m = 10 চ্যানেলে E = 5 হলে B ≈ 1.84%।

আপনার Gemini-র নোটে ত্রুটি

সেখানে 'চ্যানেল 1200, N = 7 ⇒ 171টি চ্যানেল প্রতি সেলে' ঠিক (1200/7 = 171.4)। কিন্তু 'প্রতি সেলে ২০ Erlang হলে GoS বের করুন' — আসলে GoS প্রায় শূন্য (≈ 0%) আসবে, কারণ 171 চ্যানেলে 20 Erlang অতি সামান্য লোড। প্রশ্নটি বাস্তবসম্মত করতে হলে চ্যানেল প্রতি-সেক্টর হিসাব করতে হবে (1200/7/3 ≈ 57 চ্যানেল), তখনও 20 E-র ব্লকিং প্রায় শূন্য। তাই GoS-এর প্রশ্নে সবসময় m (সেক্টর/সেলের চ্যানেল) আর E মিলিয়ে দেখুন।

৩.৬ হ্যান্ডওভার (Handoff)

ইউজার চলমান অবস্থায় সার্ভিং সেলের সিগন্যাল দুর্বল হলে নতুন সেলে সংযোগ সরানো। কারণ: সিগন্যাল দুর্বলতা, লোড ব্যালান্সিং, ইন্টারফারেন্স।

ধরন	বর্ণনা	কোথায়
Hard handover	আগের লিংক কেটে নতুন লিংক (break-before-make)	GSM, LTE
Soft handover	একসাথে ২+ সেলের সাথে যুক্ত (make-before-break)	CDMA, WCDMA
Softer	একই সাইটের ২ সেক্টরের মধ্যে	WCDMA
Intra-/Inter-frequency, Inter-RAT	একই/ভিন্ন ফ্রিকোয়েন্সি বা ভিন্ন প্রযুক্তি (LTE→3G)	LTE
Inter-MSC/Inter-MME	মোবাইল সুইচিং সেন্টার/MME বদল	—

নির্ণায়ক: LTE-তে **Event A3** (প্রতিবেশী সেল RSRP সার্ভিং সেলের চেয়ে offset বেশি ভালো) প্রায়ই হ্যান্ডওভার ট্রিগার করে। **হিস্টেরেসিস** ও **Time-to-Trigger** ব্যবহার করা হয় *ping-pong* ঠেকাতে। বিস্তারিত ফ্লো অধ্যায় ১০-এ।

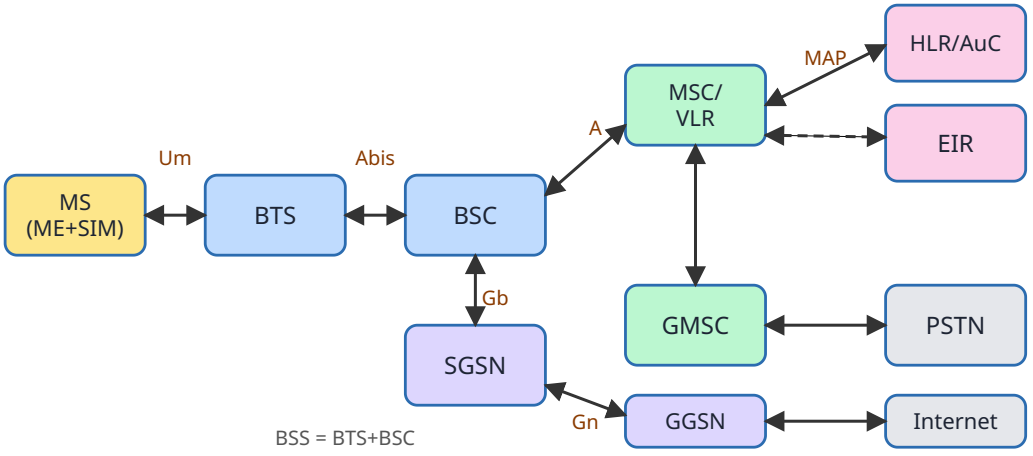
৩.৭ মোবাইল জেনারেশন তুলনা

জেনারেশন	বছর (প্রায়)	প্রযুক্তি	অ্যাক্সেস	ডেটা	কোর
1G	১৯৮০	AMPS (অ্যানালগ)	FDMA	—	—
2G	১৯৯১	GSM (GMSK)	TDMA/FDMA	9.6–14.4 kbps (CSD)	CS (MSC/HLR)
2.5G/2.75G	২০০০	GPRS / EDGE	TDMA	~115 / ~384 kbps	+SGSN/GGSN
3G	২০০১	UMTS/WCDMA, HSPA	WCDMA	384 kbps → HSPA+ 42 Mbps	CS + PS
4G	২০০৯	LTE / LTE-A	OFDMA / SC-FDMA	100 Mbps–1 Gbps	EPC (all-IP)
5G	২০১৯	NR	OFDMA (CP-OFDM)	peak 20 Gbps	5GC (SBA)

5G-র তিন প্রধান ব্যবহার (IMT-2020)

eMBB (ম্যাসিভ গতি), **URLLC** (1 ms লেটেন্সি, অতি নির্ভরযোগ্য), **mMTC** (প্রতি km² এ ১০ লক্ষ ডিভাইস)। অধ্যায় ৮-এ বিস্তারিত।

৩.৮ GSM আর্কিটেকচার (সংক্ষেপে)



চিত্র ৩.২: GSM/GPRS নেটওয়ার্ক আর্কিটেকচার

- **MS** = ME (মোবাইল ডিভাইস, IMEI) + SIM (IMSI, Ki)।
- **BTS** রেডিও ট্রান্সসিভার; **BSC** ১০০+ BTS নিয়ন্ত্রণ, হ্যান্ডওভার/পাওয়ার কন্ট্রোল, রেডিও রিসোর্স; **TRAU/Transcoder** ভয়েস কোডিং।
- **MSC** কল সুইচিং; **VLR** (অস্থায়ী ভিজিটর ডেটা); **GMSC** বাহিরের নেটওয়ার্কের প্রবেশদ্বার।
- **HLR** স্থায়ী সাবস্ক্রাইবার ডেটা; **AuC** অথেন্টিকেশন কী; **EIR** চুরি/ব্ল্যাকলিস্ট IMEI যাচাই।
- **GPRS: SGSN** (প্যাকেট মবিলিটি + অথেন্টিকেশন) এবং **GGSN** (ইন্টারনেট গেটওয়ে)। 4G EPC-র আদিরূপ এটিই: SGSN ≈ MME + SGW, GGSN ≈ PGW।

অনুশীলনী (MCQ)

1. $N = i^2 + ij + j^2$ সূত্রে (i,j) = (2,1) হলে N?

(ক) 4 (খ) 7
(গ) 9 (ঘ) 12

উত্তর: (খ) — 4+2+1 = 7।

2. N = 7 হলে D/R?

(ক) 3 (খ) 4.58
(গ) 5.2 (ঘ) 7

উত্তর: (খ) — √21 = 4.583।

3. N বাড়ালে (অন্য কিছু অপরিবর্তিত) কী ঘটে?

(ক) ইন্টারফারেন্স বাড়ে, ক্যাপাসিটি বাড়ে (খ) ইন্টারফারেন্স কমে, প্রতি সেলে ক্যাপাসিটি কমে
(গ) উভয় বাড়ে (ঘ) কিছুই না

উত্তর: (খ) — D/R বাড়ে তাই SIR ↑, কিন্তু প্রতি সেলে চ্যানেল = মোট/N ↓।

4. কোনটি Erlang B-র অনুমান?

(ক) ব্লক হওয়া কল কিউতে থাকে (খ) ব্লক হওয়া কল বাতিল হয়
(গ) কল কখনো ব্লক হয় না (ঘ) শুধু ডেটা ট্রাফিকের জন্য

উত্তর: (খ) — Erlang B = blocked calls cleared; Erlang C = delayed।

5. ঘণ্টায় 600 কল, গড় 2 মিনিট → ট্রাফিক?

(ক) 10 E (খ) 20 E
(গ) 30 E (ঘ) 1200 E

উত্তর: (খ) — 600×(2/60) = 20 E।

6. সেল ব্যাসার্ধ অর্ধেক করলে সেল সংখ্যা কত গুণ হয়?

(ক) ২ (খ) ৩
(গ) ৪ (ঘ) ৮

উত্তর: (গ) — এলাকা ∝ R^2।

7. কোন হ্যান্ডওভার make-before-break?

(ক) GSM hard (খ) LTE hard
(গ) WCDMA soft (ঘ) কোনটিই নয়

উত্তর: (গ) — CDMA/WCDMA-তে একসাথে ২+ সেলের সাথে সংযোগ।

8. GSM-এ সাবস্ক্রাইবারের স্থায়ী ডেটা কোথায় থাকে?

(ক) VLR (খ) HLR
(গ) BSC (ঘ) EIR

উত্তর: (খ) — HLR স্থায়ী; VLR অস্থায়ী।

9. GPRS-এ ইন্টারনেট গেটওয়ে কোনটি?

(ক) SGSN (খ) GGSN
(গ) MSC (ঘ) BSC

উত্তর: (খ) — GGSN ≈ 4G PGW।

10. N = 3, n = 4 হলে প্রায় SIR (৬ ইন্টারফেরার)?

(ক) 11.3 dB
(খ) 18.7 dB
(গ) 24 dB
(ঘ) 6 dB

উত্তর: (ক) — $(3)^4/6 = 13.5 \rightarrow 11.3$ dB।

11. সেক্টরাইজেশনের প্রধান উদ্দেশ্য?

(ক) পাওয়ার বাড়ানো
(খ) ইন্টারফারেন্স কমিয়ে SIR/ক্যাপাসিটি বাড়ানো
(গ) সেল ছোট করা
(ঘ) ফ্রিকোয়েন্সি কমানো

উত্তর: (খ) — ওমনির বদলে ডিরেকশনাল অ্যান্টেনা।

12. কোন নোড IMEI ব্ল্যাকলিস্ট যাচাই করে?

(ক) AuC
(খ) HLR
(গ) EIR
(ঘ) VLR

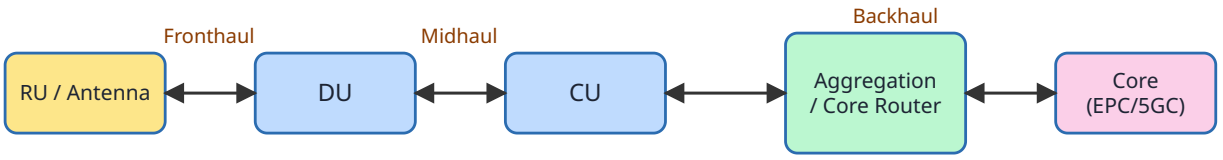
উত্তর: (গ) — Equipment Identity Register।

অধ্যায় ৪ — মোবাইল কোর ও ব্যাকহোল আর্কিটেকচার

Mobile Core and Backhaul Architectures

৪.১ বড় ছবি: Access – Transport – Core

মোবাইল নেটওয়ার্ককে তিন ভাগে দেখুন: **Access (RAN)** — ইউজারের সাথে রেডিও সংযোগ; **Transport/Backhaul** — সাইট থেকে কোর পর্যন্ত লিংক; **Core** — অথেন্টিকেশন, মবিলিটি, সেশন, রাউটিং, বিলিং। সার্কুলারের "Mobile Core and Backhaul Architectures" মানে এই দুটি অংশ।



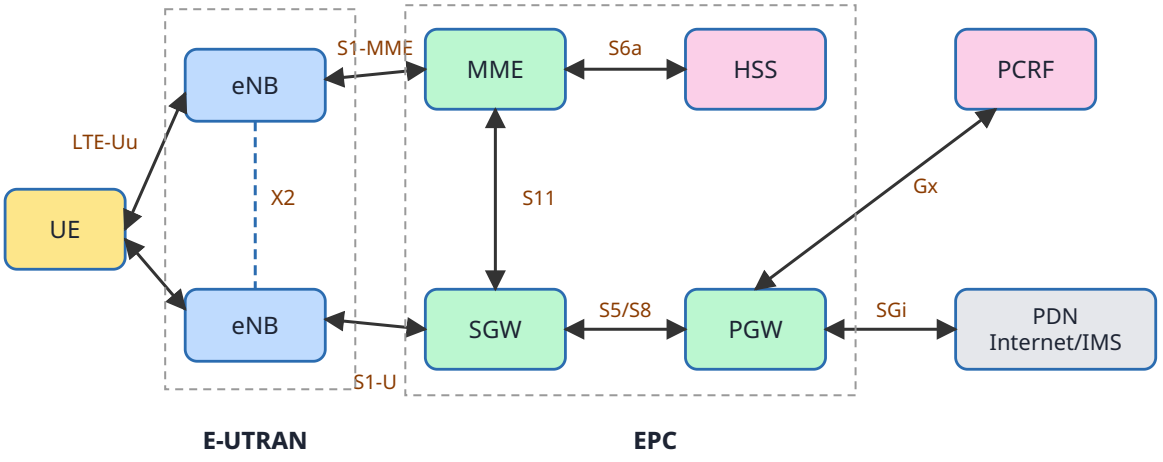
চিত্র ৪.১: RAN ট্রান্সপোর্ট — Fronthaul/Midhaul/Backhaul

৪.২ ৩জি UMTS আর্কিটেকচার (দ্রুত রিভিশন)

নোড	কাজ	ইন্টারফেস
Node B	বেস স্টেশন (WCDMA)	Uu (UE–NodeB), Iub (NodeB–RNC)
RNC	রেডিও কন্ট্রোল, soft handover, পাওয়ার কন্ট্রোল	Iur (RNC–RNC), Iu-CS (→MSC), Iu-PS (→SGSN)
MSC/VLR, HLR	CS ভয়েস	—
SGSN/GGSN	PS ডেটা	Gn, Gi

৪জি-তে **RNC বিলুপ্ত** — তার কাজ eNB-তে চলে গেছে (flat architecture), ফলে ডিলে কম।

৪.৩ ৪জি EPC আর্কিটেকচার



চিত্র ৪.২: LTE/EPC আর্কিটেকচার ও ইন্টারফেস

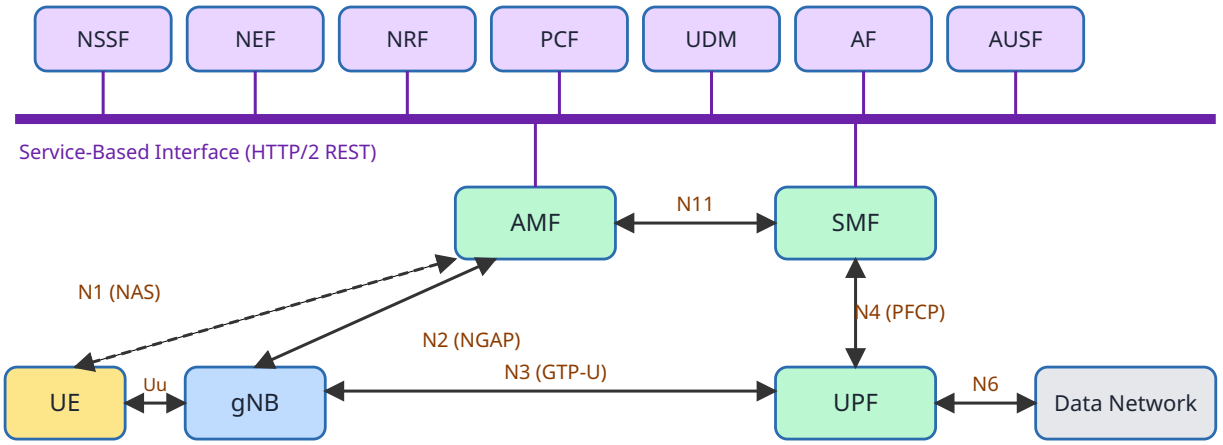
নোড	মূল কাজ (পরীক্ষার জন্য পয়েন্ট)
eNodeB	রেডিও রিসোর্স ম্যানেজমেন্ট, শিডিউলিং, হ্যান্ডওভার সিদ্ধান্ত, এনক্রিপশন, RRC/PDCP/RLC/MAC/PHY; MME ও SGW বাছাই (S1-flex)
MME	শুধু কন্ট্রোল প্লেন — attach, অথেন্টিকেশন (HSS-এর সাথে), NAS সিকিউরিটি, ট্র্যাকিং এরিয়া ম্যানেজমেন্ট, পেজিং, বেয়ারার সেটআপ, SGW/PGW সিলেকশন
SGW	ইউজার প্লেন ট্রাফিকের লোকাল মবিলিটি অ্যাংকর (eNB হ্যান্ডওভারে); IDLE অবস্থায় ডাউনলিংক বাফার ও পেজিং ট্রিগার
PGW	বাইরের PDN-এর সাথে সংযোগ; UE-কে IP অ্যাড্রেস বরাদ্দ; পলিসি এনফোর্সমেন্ট (PCEF); চার্জিং; packet filtering
HSS	সাবস্ক্রাইবার প্রোফাইল ও অথেন্টিকেশন ভেক্টর (অধ্যায় ১২)
PCRF	QoS ও চার্জিং নীতি (PCC) নির্ধারণ

ইন্টারফেস	সংযোগ	প্রোটোকল
LTE-Uu	UE – eNB	RRC/PDCP/RLC/MAC
S1-MME	eNB – MME	S1AP / SCTP
S1-U	eNB – SGW	GTP-U / UDP
S11	MME – SGW	GTP-C
S5/S8	SGW – PGW (S5 = একই অপারেটর, S8 = রোমিং)	GTP / PMIP
S6a	MME – HSS	Diameter
Gx	PCRF – PGW	Diameter
SGi	PGW – PDN	IP
X2	eNB – eNB	X2AP (হ্যান্ডওভারে ডেটা ফরওয়ার্ডিং)
S10	MME – MME	GTP-C

> **মনে রাখার কৌশল**
>
> **MME** = 'M' for Mobility (কন্ট্রোল), **SGW** = 'S' for Serving (লোকাল অ্যাংকর), **PGW** = 'P' for PDN (বাইরের দুনিয়া)। S1-**MME** = সিগন্যালিং, S1-**U** = ইউজার ডেটা।

8.8 ৫জি কোর (5GC) — Service-Based Architecture (SBA)

৫জি কোর ক্লাউড-নেটিভ: প্রতিটি নেটওয়ার্ক ফাংশন (NF) একটি **সার্ভিস** যা HTTP/2 REST API দিয়ে অন্যদের সাথে কথা বলে। কন্ট্রোল প্লেন ও ইউজার প্লেন সম্পূর্ণ আলাদা (**CUPS**)।



কন্ট্রোল প্লেন: AMF, SMF, UDM ... | ইউজার প্লেন: UPF — সম্পূর্ণ আলাদা (CUPS)

চিত্র ৪.৩: 5GC SBA — রেফারেন্স পয়েন্ট ও সার্ভিস বাস

5G NF	পূর্ণরূপ	কাজ	4G সমতুল্য
AMF	Access and Mobility Management Function	রেজিস্ট্রেশন, কানেকশন, মবিলিটি, NAS সিকিউরিটি, পেজিং	MME (মবিলিটি অংশ)
SMF	Session Management Function	PDU সেশন, IP বরাদ্দ, UPF সিলেকশন/N4 কন্ট্রোল	MME (সেশন) + SGW-C/PGW-C
UPF	User Plane Function	প্যাকেট ফরওয়ার্ডিং, QoS, ট্রাফিক রিপোর্টিং, এজ	SGW-U/PGW-U
UDM / UDR	Unified Data Management/Repository	সাবস্ক্রাইবার ডেটা, অথেন্টিকেশন ক্রেডেনশিয়াল	HSS
AUSF	Authentication Server Function	5G-AKA/EAP-AKA' সম্পাদন	HSS (অংশ)
PCF	Policy Control Function	পলিসি	PCRF
NRF	NF Repository Function	সার্ভিস ডিসকভারি/রেজিস্ট্রেশন	নেই (নতুন)
NSSF	Network Slice Selection Function	স্লাইস নির্বাচন	নেই (নতুন)
NEF	Network Exposure Function	বাইরের অ্যাপ্লিকেশনকে নিরাপদে API এক্সপোজ	SCEF
CHF	Charging Function	কনভার্জড চার্জিং	OCS/OFCS

রেফারেন্স পয়েন্ট	সংযোগ
N1	UE – AMF (NAS)
N2	gNB – AMF (NGAP)
N3	gNB – UPF (GTP-U)
N4	SMF – UPF (PFCP)
N6	UPF – ডেটা নেটওয়ার্ক
N9	UPF – UPF
N11	AMF – SMF
N8/N10/N12/N13	AMF–UDM / SMF–UDM / AMF–AUSF / AUSF–UDM
Xn	gNB – gNB (হ্যান্ডওভার)

> **NSA বনাম SA**
>
> **NSA (Non-Standalone, Option 3x):** 5G NR রেডিও কিন্তু কোর 4G EPC (দ্রুত ডিপ্লয়, ফিচার সীমিত)। **SA (Standalone, Option 2):** 5G NR + 5GC — স্লাইসিং, URLLC, SBA পূর্ণ সুবিধা শুধু SA-তে।

৪.৫ ব্যাকহোল: মাধ্যম ও প্রযুক্তি

মাধ্যম	বৈশিষ্ট্য	কোথায় উপযোগী
অপটিক্যাল ফাইবার	সর্বোচ্চ ক্যাপাসিটি (10–100G+), কম ডিলে; খরচ ও রাইট-অব-ওয়ে সমস্যা	শহর, ম্যাক্রো সাইট, 5G
মাইক্রোওয়েভ (6–42 GHz) / E-band (71–86 GHz)	দ্রুত ডিপ্লয়, ফাইবার না থাকলে; LOS দরকার; বৃষ্টিতে ফেড (উচ্চ ব্যান্ডে বেশি)	গ্রাম, পাহাড়, নদী পারাপার
স্যাটেলাইট (VSAT, LEO)	দুর্গম এলাকা; ডিলে বেশি (GEO ≈ 500+ ms RTT)	অফ-গ্রিড, দুর্যোগ
কপার (xDSL), PON	সীমিত	ফিক্সড/ছোট সেল

প্রযুক্তি: লিগ্যাসি PDH/SDH (E1, STM-n) → **Carrier Ethernet (MEF)** → **IP/MPLS** (L2VPN/L3VPN, সার্ভিস আইসোলেশন) → ভবিষ্যতে **Segment Routing/SRv6**, **OTN/DWDM** (ফাইবার ক্যাপাসিটি), **FlexE** (স্লাইসিং-এর জন্য হার্ড আইসোলেশন)। টপোলজি: স্টার, রিং (দ্রুত প্রটেকশন < 50 ms), ট্রি।

সিঙ্ক্রোনাইজেশন — ব্যাকহোলের অদৃশ্য নায়ক

- FDD-এর জন্য ফ্রিকোয়েন্সি সিঙ্ক: ±50 ppb (বেস স্টেশন এয়ার-ইন্টারফেস)। TDD (LTE-TDD/5G NR) ও CoMP-এর জন্য **ফেজ সিঙ্ক ±1.5 µs**।
- উৎস: **GNSS (GPS)**, **SyncE** (ফ্রিকোয়েন্সি), **IEEE 1588v2 PTP** (ফেজ+টাইম)। GPS না থাকলে PTP গ্র্যান্ডমাস্টার।

মাইক্রোওয়েভ লিংক: ফ্রেনেল জোন

LOS শুধু সরলরেখা নয় — প্রথম ফ্রেনেল জোনের কমপক্ষে ৬০% বাধামুক্ত থাকতে হয়:

$$r_1 = 17.3 \sqrt{(d_1\, d_2 / (f \cdot d))} \quad [\text{m; } d_1, d_2, d = \text{km; } f = \text{GHz}]$$

উদাহরণ: ফ্রেনেল ব্যাসার্ধ

d = 10 km, মাঝবিন্দুতে $d_1 = d_2 = 5$ km, f = 7 GHz → $r_1 = 17.3 \times \sqrt{(25/(7\times10))} = 17.3 \times 0.5976 =$ **10.3 m**। ৬০% = 6.2 m ক্লিয়ারেন্স দরকার।

ব্যাকহোল ক্যাপাসিটি প্ল্যানিং

উদাহরণ: ৩-সেক্টর সাইটের ব্যাকহোল

প্রতি সেক্টরে ব্যস্ত-ঘণ্টার গড় = 40 Mbps, পিক = 150 Mbps। প্রচলিত ডিজাইন নিয়ম (NGMN-ধরনের):

$$\text{প্রয়োজন} \approx \max(\ \Sigma \text{ গড়}\ ,\ \text{পিক}_{১\ \text{সেক্টর}} + \Sigma \text{ গড়}_{\text{বাকিরা}}\ )$$

= max(3×40, 150 + 2×40) = max(120, 230) = **230 Mbps**; GTP/IPsec ওভারহেড ~10–20% যোগ করলে ≈ 260–275 Mbps → 1 GbE লিংক যথেষ্ট; 5G সাইটে 10 GbE ধরা হয়। (এটি ডিজাইন-নিয়মের উদাহরণ; অপারেটরভেদে সামান্য আলাদা হয়।)

৪.৬ কোর রিডান্ডেন্সি

- **Pooling:** একাধিক MME/AMF একটি পুল — eNB/gNB যেকোনো একটি বাছতে পারে (S1-flex / N2-flex); লোড ভাগ + ফেইলওভার।
- **Geo-redundancy:** আলাদা ডেটাসেন্টারে ব্যাকআপ — দুর্যোগ প্রতিরোধ।
- **অ্যাভেইলেবিলিটি:** সিরিজ ও প্যারালাল সিস্টেম (অধ্যায় ৬-এ সূত্র)। টেলিকম গ্রেড লক্ষ্য: "ফাইভ নাইনস" = 99.999% (বছরে ≈ 5.26 মিনিট ডাউনটাইম)।

অনুশীলনী (MCQ)

1. LTE-তে MME ও eNB-র মধ্যকার ইন্টারফেস?

(ক) S1-U
(খ) S1-MME
(গ) S11
(ঘ) S6a

উত্তর: (খ) — S1-MME = সিগন্যালিং; S1-U = ডেটা।

2. S6a ইন্টারফেস কোন কোন নোডকে যুক্ত করে?

(ক) MME–HSS
(খ) SGW–PGW
(গ) eNB–SGW
(ঘ) PGW–PCRF

উত্তর: (ক) — S6a = MME–HSS, Diameter।

3. বাইরের ইন্টারনেটের সাথে সংযোগ ও IP বরাদ্দ করে কোন নোড?

(ক) MME
(খ) SGW
(গ) PGW
(ঘ) HSS

উত্তর: (গ) — PGW (5G-তে UPF + SMF)।

4. 5G কোরে SMF ও UPF-এর মধ্যকার ইন্টারফেস?

(ক) N2
(খ) N3
(গ) N4
(ঘ) N6

উত্তর: (গ) — N4 — PFCP।

5. gNB ও UPF-এর মধ্যকার ইউজার-প্লেন ইন্টারফেস?

(ক) N1 (খ) N2

(গ) N3 (ঘ) N9

উত্তর: (গ) — N3 (GTP-U)।

6. কোনটি 5GC-তে সম্পূর্ণ নতুন, 4G-তে নেই?

(ক) AMF (খ) NRF

(গ) UPF (ঘ) UDM

উত্তর: (খ) — NRF/NSSF নতুন; বাকিগুলোর 4G সমতুল্য আছে।

7. TDD নেটওয়ার্কে সাধারণত প্রয়োজনীয় ফেজ সিঙ্ক নির্ভুলতা?

(ক) ±1.5 µs (খ) ±15 ms

(গ) ±1 s (ঘ) প্রয়োজন নেই

উত্তর: (ক) — TDD/NR-এ ±1.5 µs।

8. নিচের কোনটি 4G-তে বিলুপ্ত হয়ে eNB-র মধ্যে এসেছে?

(ক) MSC (খ) RNC

(গ) HLR (ঘ) GGSN

উত্তর: (খ) — RNC-র কাজ eNB-তে।

9. ফাইভ নাইনস (99.999%) অ্যাভেইলেবিলিটিতে বছরে ডাউনটাইম?

(ক) ≈ 5 মিনিট (খ) ≈ 53 মিনিট

(গ) ≈ 9 ঘণ্টা (ঘ) ≈ 3.5 দিন

উত্তর: (ক) — (1−0.99999)×525600 ≈ 5.26 মিনিট।

10. 5G SA-এর বৈশিষ্ট্য কোনটি?

(ক) 4G EPC কোর ব্যবহার করে (খ) 5GC ব্যবহার করে ও স্লাইসিং সমর্থন করে

(গ) শুধু mmWave (ঘ) কোর নেই

উত্তর: (খ) — SA = NR + 5GC।

11. মাইক্রোওয়েভ লিংকে প্রথম ফ্রেনেল জোনের ন্যূনতম কত অংশ বাধামুক্ত থাকা উচিত?

(ক) ২০% (খ) ৪০%

(গ) ৬০% (ঘ) ১০০%

উত্তর: (গ) — সাধারণ নিয়ম ৬০%।

12. কোন প্রযুক্তি ব্যাকহোলে ফেজ ও টাইম সিঙ্ক বহন করে?

(ক) SyncE (খ) IEEE 1588v2 (PTP)

(গ) E1 (ঘ) STM-1

উত্তর: (খ) — SyncE শুধু ফ্রিকোয়েন্সি।

অধ্যায় ৫ — প্যাকেট-সুইচড মোবাইল নেটওয়ার্ক

Packet-Switched Mobile Networks

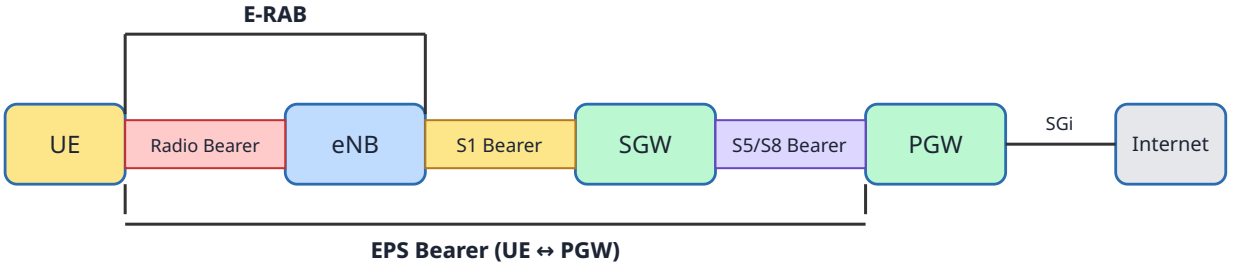
৫.১ কেন প্যাকেট-সুইচড মোবাইল নেটওয়ার্ক?

২জি-তে ডেটা ছিল সার্কিট (CSD, ধীর)। GPRS (২.৫জি) থেকে মোবাইলে **প্যাকেট ডেটা** এল — ডেটা পাঠানোর সময়ই রিসোর্স লাগে, ইউজার "always-on" থাকে। ৪জি-তে পুরো নেটওয়ার্ক **all-IP** — ভয়েসও IP প্যাকেট (VoLTE)। ৫জি-তে এটি আরও স্থিতিস্থাপক ও ভার্চুয়ালাইজড।

	2.5G GPRS	3G UMTS PS	4G EPS	5G
অ্যাক্সেস	BSS	UTRAN	E-UTRAN	NG-RAN
মবিলিটি/সেশন	SGSN	SGSN	MME + SGW	AMF + SMF
গেটওয়ে	GGSN	GGSN	PGW	UPF
সেশন নাম	PDP context	PDP context	EPS bearer	PDU session
QoS	—	Traffic class	QCI	5QI / QoS Flow

৫.২ বেয়ারার ধারণা (EPS Bearer)

বেয়ারার = নির্দিষ্ট QoS সহ একটি লজিক্যাল ডেটা পাইপ (UE ↔ PGW)। প্রতিটি EPS বেয়ারার তিনটি অংশ নিয়ে গঠিত: রেডিও বেয়ারার + S1 বেয়ারার + S5/S8 বেয়ারার।



চিত্র ৫.১: EPS bearer-এর গঠন

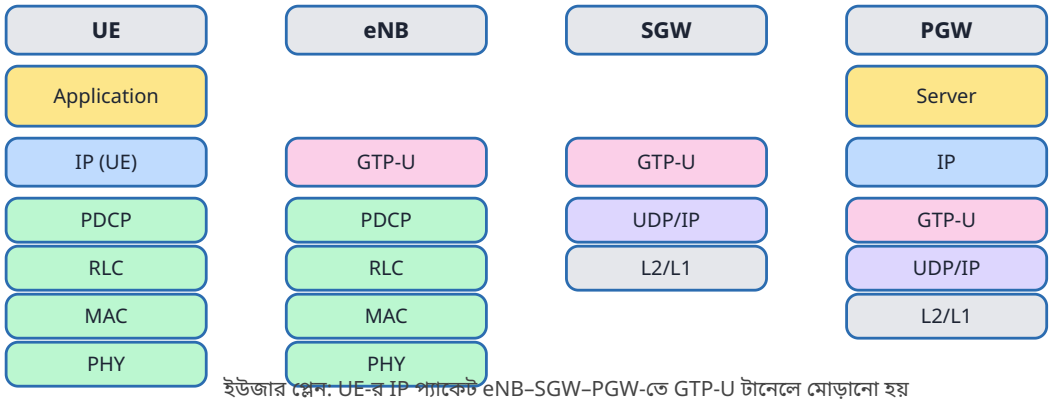
- **Default bearer:** Attach-এর সময় স্বয়ংক্রিয় তৈরি; UE-কে IP দেয়; non-GBR (সাধারণত QCI 9); সবসময় চালু থাকে।
- **Dedicated bearer:** বিশেষ QoS লাগলে (যেমন VoLTE QCI 1) অতিরিক্ত বেয়ারার; GBR বা non-GBR।
- **GBR** (Guaranteed Bit Rate) — গ্যারান্টিযুক্ত ব্যান্ডউইথ; **Non-GBR** — best effort।

QCI	ধরন	ডিলে বাজেট	Loss রেট	উদাহরণ
1	GBR	100 ms	10^{-2}	কথোপকথন ভয়েস (VoLTE)
2	GBR	150 ms	10^{-3}	ভিডিও কল
3	GBR	50 ms	10^{-3}	রিয়েল-টাইম গেমিং
4	GBR	300 ms	10^{-6}	বাফারড ভিডিও
5	Non-GBR	100 ms	10^{-6}	IMS সিগন্যালিং (SIP)
6	Non-GBR	300 ms	10^{-6}	TCP-ভিত্তিক ভিডিও/ওয়েব
7	Non-GBR	100 ms	10^{-3}	ভয়েস/ভিডিও/গেম (লাইভ)
8/9	Non-GBR	300 ms	10^{-6}	প্রিমিয়াম / ডিফল্ট (best effort)

৫জি-তে: QoS ফ্লো ভিত্তিক — PDU session-এর ভেতর একাধিক **QoS Flow** (QFI দিয়ে চেনা), প্রতিটির **5QI**; 5QI 1 = ভয়েস, 5QI 5 = IMS সিগন্যালিং, 5QI 9 = ডিফল্ট; URLLC-এর জন্য delay-critical GBR (যেমন 5QI 82–85)।

৫.৩ GTP টানেলিং

কোরের ভেতরে UE-র IP প্যাকেট সরাসরি যায় না; **GTP-U** টানেলে মোড়ানো হয়। প্রতিটি টানেল একটি **TEID** (Tunnel Endpoint ID, ৩২ বিট) দিয়ে চেনা যায়। এতে UE-র IP বদলালেও বা মবিলিটিতে এন্ডপয়েন্ট বদলালেও কোরের রাউটিং সহজ থাকে।



চিত্র ৫.২: LTE ইউজার-প্লেন প্রোটোকল স্ট্যাক

উদাহরণ: GTP ওভারহেড
GTP-U হেডার 8 বাইট, UDP 8 বাইট, বাইরের IPv4 20 বাইট ⇒ মোট **36 বাইট** অতিরিক্ত (IPv6 ট্রান্সপোর্টে 56 বাইট)। UE প্যাকেট 1400 বাইট হলে ট্রান্সপোর্ট প্যাকেট = 1436 বাইট; ওভারহেড = 36/1436 ≈ **2.5%**। ছোট প্যাকেটে (যেমন 72 বাইট VoIP) ওভারহেড 33% — তাই ভয়েসে ROHC হেডার কমপ্রেশন লাগে (অধ্যায় ১১)। MTU সমস্যা এড়াতে সাধারণত UE MTU ≈ 1358–1400 রাখা হয়।

৫.৪ আইপি অ্যাড্রেস, APN, NAT

- **APN** (Access Point Name, 5G-তে **DNN**): কোন নেটওয়ার্কে (ইন্টারনেট, IMS, কর্পোরেট) সংযোগ হবে তার নাম (যেমন `internet`, `ims`)। UE ইন্টারনেট ও IMS-এর জন্য আলাদা PDN কানেকশন রাখে।
- IP বরাদ্দ: PGW/SMF নিজে, বা DHCP/RADIUS থেকে; IPv4, IPv6 (SLAAC /64), বা dual-stack।

- IPv4 ঘাটতির কারণে অপারেটর **CGNAT** (Carrier-Grade NAT) ব্যবহার করে — বহু ইউজার একটি পাবলিক IP শেয়ার করে। IPv6 এই সমস্যার সমাধান।

৫.৫ পলিসি ও চার্জিং (PCC)

PCRF (4G) / **PCF** (5G) নির্ধারণ করে কোন ট্রাফিকে কী QoS ও চার্জ। **PCEF** (PGW/UPF-এ) তা প্রয়োগ করে (Gx)। চার্জিং: অনলাইন (প্রিপেইড, **OCS**, Gy) ও অফলাইন (পোস্টপেইড, **OFCS**/CDR, Gz); 5G-তে **CHF** (কনভার্জড)। FUP/থ্রটলিং ও ডেটা-সেভার PCC-র মাধ্যমেই হয়।

৫.৬ পারফরম্যান্স: ব্যান্ডউইথ-ডিলে প্রোডাক্ট

TCP পূর্ণ গতিতে চলতে নেটওয়ার্ক "পাইপ" ভরাতে যথেষ্ট ডেটা-ইন-ফ্লাইট দরকার:

$$\text{BDP} = \text{Bandwidth} \times \text{RTT}$$

উদাহরণ: BDP
লিংক 100 Mbps, RTT = 50 ms → BDP = $100 \times 10^6 \times 0.05 / 8$ = **625,000 বাইট ≈ 610 KB**। TCP উইন্ডো এর চেয়ে ছোট হলে গতি লিংক ক্ষমতার নিচে আটকে যাবে। তাই 5G-তে কম লেটেন্সি সরাসরি TCP থ্রুপুটে প্রভাব ফেলে।

অনুশীলনী (MCQ)

1. Attach-এর সময় স্বয়ংক্রিয়ভাবে তৈরি হয় কোন বেয়ারার?

(ক) Dedicated (খ) Default
(গ) GBR (ঘ) S11

উত্তর: (খ) — Default bearer — IP বরাদ্দ হয়।

2. VoLTE ভয়েস প্যাকেটের জন্য কোন QCI?

(ক) 1 (খ) 5
(গ) 8 (ঘ) 9

উত্তর: (ক) — QCI 1 GBR। QCI 5 = IMS সিগন্যালিং।

3. GTP-U টানেল চেনার ফিল্ড কোনটি?

(ক) IMSI (খ) TEID
(গ) APN (ঘ) QCI

উত্তর: (খ) — Tunnel Endpoint Identifier।

4. PGW-র সমতুল্য 5G NF?

(ক) AMF (খ) UPF (SMF-এর সাথে)
(গ) NRF (ঘ) NSSF

উত্তর: (খ) — PGW-C ≈ SMF, PGW-U ≈ UPF।

5. GTP-U + UDP + IPv4 মোট অতিরিক্ত বাইট?

(ক) 20 (খ) 28
(গ) 36 (ঘ) 56

উত্তর: (গ) — 8+8+20 = 36।

6. 5G-তে PDU সেশনের অভ্যন্তরীণ QoS একক কী?

(ক) EPS bearer
(খ) QoS Flow (QFI)
(গ) APN
(ঘ) PDP context

উত্তর: (খ) — QoS Flow, QFI দ্বারা চিহ্নিত।

7. APN-এর 5G সমতুল্য শব্দ?

(ক) DNN
(খ) SUCI
(গ) TAC
(ঘ) PLMN

উত্তর: (ক) — Data Network Name।

8. IPv4 ঘাটতি মেটাতে অপারেটর কী ব্যবহার করে?

(ক) CGNAT
(খ) DHCP-Relay
(গ) OSPF
(ঘ) ARP

উত্তর: (ক) — Carrier-grade NAT; দীর্ঘমেয়াদে IPv6।

9. 100 Mbps, RTT 40 ms হলে BDP?

(ক) 250 KB
(খ) 500 KB
(গ) 4 MB
(ঘ) 1 MB

উত্তর: (খ) — 100e6×0.04/8 = 500,000 B।

10. কোন নোড QoS/চার্জিং পলিসি নির্ধারণ করে (4G)?

(ক) PCRF
(খ) HSS
(গ) SGW
(ঘ) eNB

উত্তর: (ক) — PCRF → Gx দিয়ে PGW-কে জানায়।

অধ্যায় ৬ — NFV — Network Function Virtualization

Network Function Virtualization in Cellular Systems

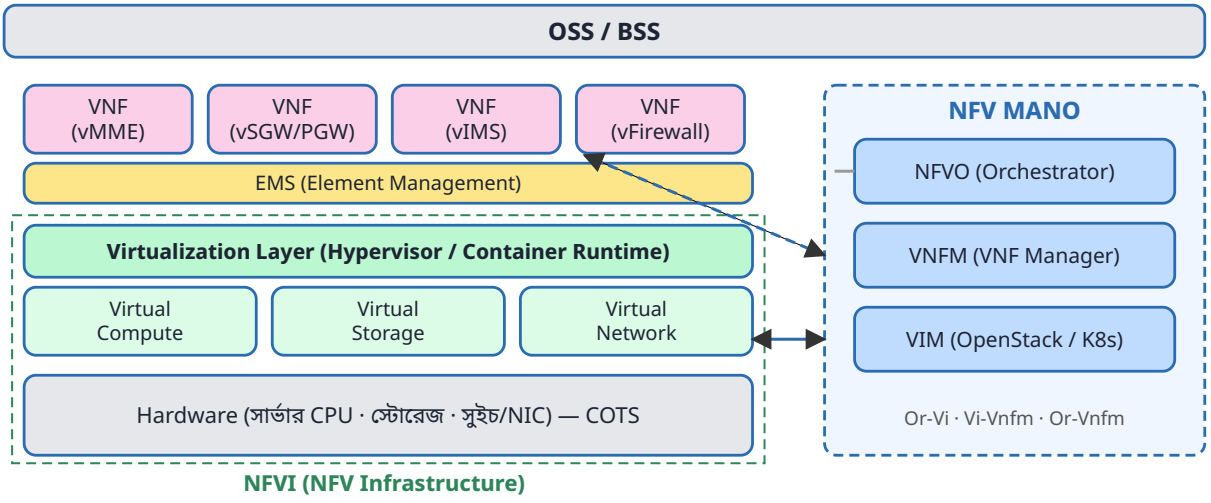
৬.১ সমস্যা: কেন NFV?

আগে MME, PGW, ফায়ারওয়ার্ড, SBC — প্রতিটি আলাদা **প্রোপ্রাইটারি হার্ডওয়্যার অ্যাপ্লায়েন্স** (ভেন্ডর-লক-ইন), বসাতে মাস লাগত, লোড কম থাকলেও ক্ষমতা বেকার, স্কেলিং কঠিন।

> **NFV কী?**
>
> **Network Function Virtualization:** নেটওয়ার্ক ফাংশনকে হার্ডওয়্যার থেকে আলাদা করে **সফটওয়্যার (VNF)** হিসেবে সাধারণ (COTS) সার্ভারে ভার্চুয়াল মেশিন/কনটেইনারে চালানো। ধারণা প্রস্তাব করে ETSI NFV ISG (২০১২), আর্কিটেকচার মানদণ্ড ETSI GS NFV।

সুবিধা	ব্যাখ্যা
CAPEX ↓	সস্তা COTS হার্ডওয়্যার, শেয়ারড রিসোর্স
OPEX ↓	অটোমেশন, কম পাওয়ার/স্পেস
দ্রুত সার্ভিস	নতুন সার্ভিস ঘণ্টায় ডিপ্লয়
Elastic scaling	লোড বাড়লে VNF ইনস্ট্যান্স যোগ, কমলে কমানো
ভেন্ডর-স্বাধীনতা	হার্ডওয়্যার ও সফটওয়্যার আলাদা ভেন্ডর থেকে

৬.২ ETSI NFV আর্কিটেকচার



চিত্র ৬.১: ETSI NFV আর্কিটেকচার (NFVI + VNF + MANO)

- **VNF** — ভার্চুয়াল নেটওয়ার্ক ফাংশন (vEPC, vIMS, vRouter, vFW, vCPE, vBBU)। **EMS** VNF-এর FCAPS ব্যবস্থাপনা করে।
- **NFVI** — যে ইনফ্রাস্ট্রাকচারে VNF চলে: হার্ডওয়্যার + ভার্চুয়ালাইজেশন লেয়ার (হাইপারভাইজার KVM/VMware; বা কনটেইনার রানটাইম)।

- **MANO** (Management and Orchestration): **NFVO** — নেটওয়ার্ক সার্ভিস অর্কেস্ট্রেশন, রিসোর্স সমন্বয়; **VNFM** — VNF লাইফসাইকেল (ইনস্ট্যানশিয়েট, স্কেল, হিল, টার্মিনেট); **VIM** — হার্ডওয়্যার রিসোর্স নিয়ন্ত্রণ (OpenStack, Kubernetes)।

VM বনাম কনটেইনার (VNF বনাম CNF)

	VM (VNF)	কনটেইনার (CNF)
আইসোলেশন	শক্তিশালী (পূর্ণ OS)	হালকা (শেয়ারড কার্নেল)
বুট সময়	মিনিট	সেকেন্ড
রিসোর্স	বেশি	কম
টুল	OpenStack/KVM	Kubernetes/Docker
5G কোর	প্রাথমিক	**ক্লাউড-নেটিভ 5GC = CNF, মাইক্রোসার্ভিস**

পারফরম্যান্স বাড়ানোর প্রযুক্তি: DPDK (কার্নেল বাইপাস, ইউজারস্পেসে দ্রুত প্যাকেট প্রসেসিং), **SR-IOV** (NIC-কে সরাসরি VM-এ ভার্চুয়াল ফাংশন হিসেবে), **CPU pinning/NUMA**, **SmartNIC/FPGA অফলোড**।

৬.৩ NFV বনাম SDN

	NFV	SDN
মূল ধারণা	ফাংশনকে হার্ডওয়্যার থেকে আলাদা করা	কন্ট্রোল প্লেন ও ডেটা প্লেন আলাদা করা
কী ভার্চুয়াল হয়	রাউটার, ফায়ারওয়াল, EPC ইত্যাদি	সুইচ/রাউটারের বুদ্ধি কেন্দ্রীয় কন্ট্রোলারে
প্রটোকল	—	OpenFlow, NETCONF/YANG, P4
সম্পর্ক	স্বাধীন, কিন্তু একসাথে ব্যবহার সবচেয়ে কার্যকর (SDN নেটওয়ার্ক কানেক্টিভিটি দেয়, NFV ফাংশন চালায়)	

Service Function Chaining (SFC): প্যাকেট একটি নির্দিষ্ট ক্রমে VNF-এর মধ্য দিয়ে পাঠানো (যেমন: ফায়ারওয়াল → DPI → NAT → ইন্টারনেট), SDN দিয়ে ডাইনামিকভাবে ঠিক করা হয়।

৬.৪ গণিত: স্কেলিং ও অ্যাভেইলেবিলিটি

উদাহরণ: কয়টি VNF ইনস্ট্যান্স লাগবে?
প্রতি vUPF ইনস্ট্যান্স = 10 Gbps; পিক ট্রাফিক = 35 Gbps; রিডান্ডেন্সি N+1। $N = \lceil 35/10 \rceil = 4$; +1 ⇒ **5 ইনস্ট্যান্স**। ট্রাফিক কমলে স্কেল-ইন করে রিসোর্স বাঁচানো যায়।

অ্যাভেইলেবিলিটি: সিরিজে (সব কাজ করলে চলে): $A_s = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots$; প্যারালালে (একটি চললেই চলে): $A_p = 1 - (1-A_1)(1-A_2)\dots$।

উদাহরণ: অ্যাভেইলেবিলিটি
একটি VNF-এর A = 99.9% (0.999)। ২টি প্যারালালে: $1 - (0.001)^2 = 0.999999$ = **99.9999%**। সিরিজে ৩টি 99.9% ধাপ: $0.999^3 = 0.997$ = **99.7%** — চেইন যত লম্বা, অ্যাভেইলেবিলিটি তত কমে, তাই রিডান্ডেন্সি জরুরি।

NFV চ্যালেঞ্জ

- পারফরম্যান্স (হার্ডওয়্যারের সমান কি না) · মাল্টি-ভেন্ডর ইন্টারঅপারেবিলিটি · সিকিউরিটি (হাইপারভাইজার আক্রমণ) · স্কিল গ্যাপ · MANO জটিলতা।

অনুশীলনী (MCQ)

1. NFV-র মূল ধারণা কোনটি?

(ক) কন্ট্রোল/ডেটা প্লেন আলাদা করা
(খ) নেটওয়ার্ক ফাংশনকে সফটওয়্যার হিসেবে COTS-এ চালানো
(গ) শুধু ফাইবার ব্যবহার
(ঘ) রেডিও ভার্চুয়াল করা

উত্তর: (খ) — SDN-এর মূল কথা প্লেন আলাদা করা।

2. VNF-এর লাইফসাইকেল (instantiate/scale/terminate) ম্যানেজ করে কে?

(ক) NFVO
(খ) VNFM
(গ) VIM
(ঘ) EMS

উত্তর: (খ) — VNFM; VIM = হার্ডওয়্যার রিসোর্স, NFVO = সার্ভিস অর্কেস্ট্রেশন।

3. OpenStack সাধারণত MANO-র কোন ভূমিকায়?

(ক) NFVO
(খ) VNFM
(গ) VIM
(ঘ) OSS

উত্তর: (গ) — Virtualized Infrastructure Manager।

4. কনটেইনার-ভিত্তিক ক্লাউড-নেটিভ ফাংশনের জন্য প্রচলিত অর্কেস্ট্রেটর?

(ক) Kubernetes
(খ) KVM
(গ) OpenFlow
(ঘ) SNMP

উত্তর: (ক) — CNF → Kubernetes।

5. DPDK-এর কাজ?

(ক) রেডিও ইন্টারফারেন্স কমানো
(খ) কার্নেল বাইপাস করে দ্রুত প্যাকেট প্রসেসিং
(গ) ভয়েস কোডেক
(ঘ) IP অ্যাড্রেসিং

উত্তর: (খ) — ইউজারস্পেস-এ হাই-স্পিড প্যাকেট প্রসেসিং।

6. দুটি 99.9% ইউনিট প্যারালাল হলে অ্যাভেইলেবিলিটি?

(ক) 99.8%
(খ) 99.99%
(গ) 99.9999%
(ঘ) 99.9%

উত্তর: (গ) — $1-0.001^2 = 0.999999$।

7. 25 Gbps ট্রাফিক, প্রতি ইনস্ট্যান্স 10 Gbps, N+1 হলে ইনস্ট্যান্স?

(ক) 3
(খ) 4
(গ) 2
(ঘ) 5

উত্তর: (খ) — $\lceil 2.5 \rceil = 3$, +1 = 4।

8. ETSI NFV-তে NFVI-এ কী থাকে?

(ক) শুধু VNF
(খ) হার্ডওয়্যার ও ভার্চুয়ালাইজেশন লেয়ার
(গ) OSS/BSS
(ঘ) শুধু EMS

উত্তর: (খ) — NFVI = compute/storage/network + virtualization layer।

9. OpenFlow কোন প্রযুক্তির সাথে সম্পর্কিত?

(ক) NFV
(খ) SDN
(গ) IMS
(ঘ) CDMA

উত্তর: (খ) — SDN কন্ট্রোলার–সুইচ প্রোটোকল।

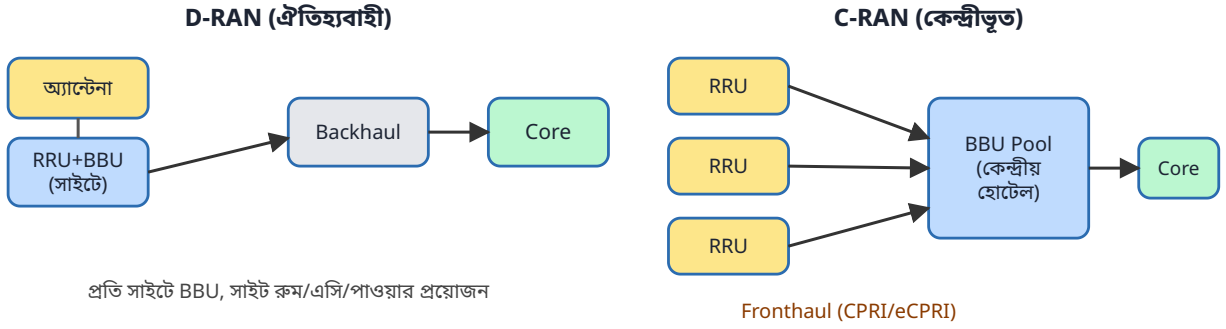
অধ্যায় ৭ — C-RAN ও O-RAN

Cloud RAN & Open Radio Access Networks

৭.১ ঐতিহ্যবাহী RAN-এর সীমাবদ্ধতা (D-RAN)

Distributed RAN-এ প্রতিটি সাইটে অ্যান্টেনা + RRU + BBU একসাথে। প্রতিটি সাইটে আলাদা রুম, এসি, পাওয়ার, রক্ষণাবেক্ষণ; লোড ওঠানামা করলে একটি সাইটের ফাঁকা ক্ষমতা অন্য সাইট ব্যবহার করতে পারে না; এবং ইন্টারফারেন্স সমন্বয় (CoMP) কঠিন।

৭.২ C-RAN (Centralized / Cloud RAN)



চিত্র ৭.১: D-RAN বনাম C-RAN

C-RAN-এ BBU-গুলোকে এক জায়গায় (**BBU pool/hub**) এনে ভার্চুয়ালাইজড সার্ভারে চালানো হয়; সাইটে থাকে শুধু অ্যান্টেনা ও **RRU/RRH**। RRU–BBU লিংকের নাম **Fronthaul**।

সুবিধা	চ্যালেঞ্জ
রিসোর্স পুলিং — স্ট্যাটিস্টিক্যাল মাল্টিপ্লেক্সিং গেইন	ফ্রন্টহলে বিশাল ব্যান্ডউইথ (CPRI)
সাইটে খরচ/পাওয়ার কম	কঠোর লেটেন্সি (≈ 100 µs–250 µs রাউন্ড-ট্রিপ বাজেট)
CoMP, ইন্টার-সেল ইন্টারফারেন্স সমন্বয় সহজ	ফাইবার প্রাপ্যতা ও খরচ
দ্রুত রোলআউট/আপগ্রেড	বড় হাব = সিঙ্গল পয়েন্ট অফ ফেইলিউর

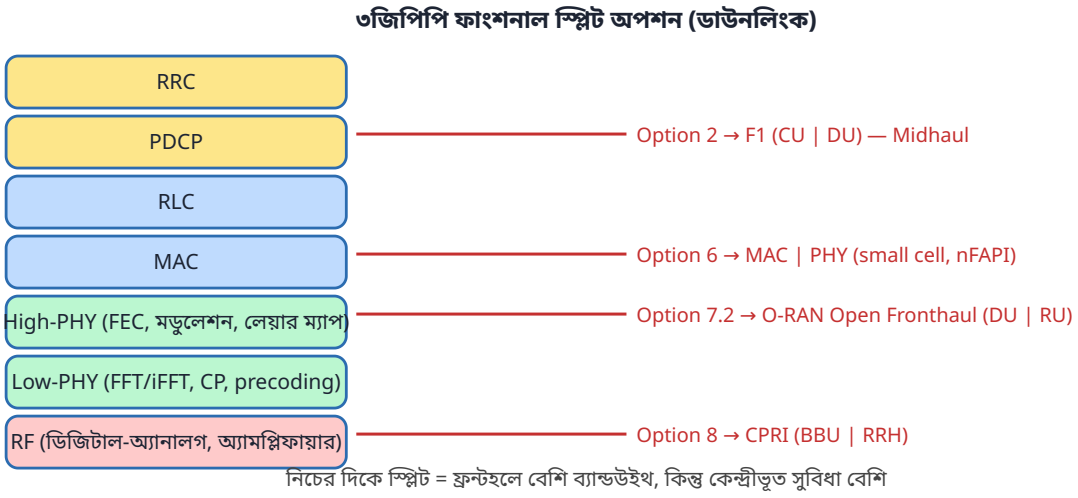
উদাহরণ: CPRI ফ্রন্টহল বিটরেট

LTE 20 MHz-এর স্যাম্পলিং রেট = 30.72 MS/s; I ও Q → ×2; ১৫ বিট/নমুনা; কন্ট্রোল ওভারহেড ×16/15; 8b/10b এনকোডিং ×10/8।

প্রতি অ্যান্টেনা = $30.72\times10^6 \times 2 \times 15 \times (16/15) \times (10/8)$ = **1228.8 Mbps** (= CPRI Option 2)। 4T4R হলে = **4.9152 Gbps** (Option 5)।

৫জি 100 MHz (122.88 MS/s) এ প্রতি অ্যান্টেনা ≈ 4.9152 Gbps; **64T64R massive MIMO** হলে ≈ **314.6 Gbps** — ফাইবারে অসম্ভব! তাই CPRI (split option 8) ৫জি-তে অচল; দরকার **eCPRI/ফাংশনাল স্প্লিট 7.2**।

ফাংশনাল স্প্লিট



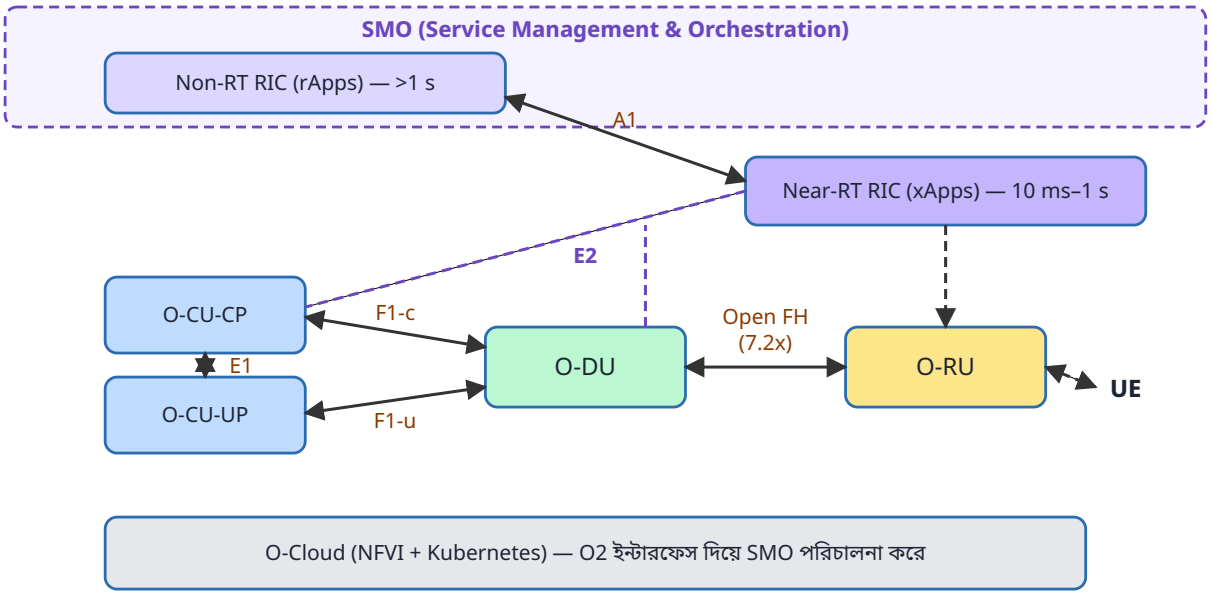
চিত্র ৭.২: RAN ফাংশনাল স্প্লিট অপশন

৫জি NG-RAN-এ gNB = **CU** (Central Unit: RRC, PDCP) + **DU** (Distributed Unit: RLC, MAC, high-PHY) + **RU** (Radio Unit: low-PHY, RF)। লিংকের নাম: **Fronthaul** (RU–DU), **Midhaul** (DU–CU, F1), **Backhaul** (CU–কোর, NG)। CU-কে CU-CP ও CU-UP-তে আরও ভাগ করা যায় (E1 ইন্টারফেস)।

৭.৩ Open RAN ও O-RAN

> **ধারণা**
>
> প্রচলিত RAN-এ RU–DU–CU একই ভেন্ডরের, ইন্টারফেস প্রোপ্রাইটারি। **Open RAN** = ওপেন, ইন্টারঅপারেবল ইন্টারফেস, যাতে ভিন্ন ভেন্ডরের RU/DU/CU একসাথে চলে। **O-RAN Alliance** (২০১৮, AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT DOCOMO, Orange প্রতিষ্ঠিত) হলো স্পেসিফিকেশন তৈরির সংগঠন (C-RAN Alliance + xRAN Forum-এর সমন্বয়)। লক্ষ্য: **Open (ওপেন ইন্টারফেস) + Virtualized (vRAN) + Intelligent (RIC) + Interoperable**।

পার্থক্য: vRAN = RAN সফটওয়্যার ভার্চুয়ালাইজড; C-RAN = কেন্দ্রীভূত আর্কিটেকচার; O-RAN = ওপেন ইন্টারফেস + RIC। এগুলো আলাদা কিন্তু একসাথে ব্যবহার করা যায়।



চিত্র ৭.৩: O-RAN লজিক্যাল আর্কিটেকচার

উপাদান/ইন্টারফেস	কাজ
O-RU / O-DU / O-CU	ওপেন ইন্টারফেস সহ রেডিও/ডিস্ট্রিবিউটেড/সেন্ট্রাল ইউনিট
Near-RT RIC	RAN Intelligent Controller — 10 ms–1 s নিয়ন্ত্রণ লুপ; **xApps** চালায় (লোড ব্যালান্সিং, হ্যান্ডওভার অপটিমাইজেশন, ইন্টারফারেন্স ম্যানেজমেন্ট)
Non-RT RIC	SMO-র ভেতরে; >1 s লুপ; **rApps**; AI/ML মডেল ট্রেনিং ও নীতি তৈরি
SMO	Service Management and Orchestration — পুরো নেটওয়ার্কের অটোমেশন ও ব্যবস্থাপনা
O-Cloud	O-RAN ফাংশন চালানোর ক্লাউড ইনফ্রা (NFVI)
Open Fronthaul	O-DU–O-RU, split 7.2x; C/U/S/M-plane (Control, User, Sync, Management)
E2	Near-RT RIC ↔ O-CU/O-DU (নিয়ন্ত্রণ ও টেলিমেট্রি)
A1	Non-RT RIC → Near-RT RIC (নীতি, ML মডেল)
O1	SMO ↔ O-RAN নোড (FCAPS ব্যবস্থাপনা)
O2	SMO ↔ O-Cloud
F1 / E1 / Xn / NG	3GPP ইন্টারফেস (CU–DU / CU-CP–CU-UP / gNB–gNB / gNB–কোর)

সুবিধা ও চ্যালেঞ্জ

- **সুবিধা:** ভেন্ডর লক-ইন কমে, প্রতিযোগিতায় খরচ কমে, উদ্ভাবন (AI/ML দিয়ে স্বয়ংক্রিয় অপটিমাইজেশন), সরবরাহ-চেইন বৈচিত্র্য (সিকিউরিটি/ভূ-রাজনৈতিক কারণে গুরুত্বপূর্ণ)।
- **চ্যালেঞ্জ:** মাল্টি-ভেন্ডর ইন্টিগ্রেশন জটিলতা, পাওয়ার-কার্যক্ষমতা, ইন্টারঅপ টেস্টিং, দায়িত্ব কার (ইন্টিগ্রেটর) অস্পষ্টতা, নতুন সিকিউরিটি অ্যাটাক সারফেস।

> **পরীক্ষায় আঁকার জন্য**
> O-RAN ডায়াগ্রামে অন্তত লিখুন: SMO (Non-RT RIC) ↔ A1 ↔ Near-RT RIC ↔ E2 ↔ CU/DU; DU ↔ Open FH ↔ RU; SMO ↔ O1 ↔ সব নোড; SMO ↔ O2 ↔ O-Cloud।

অনুশীলনী (MCQ)

1. C-RAN-এ RRU ও BBU-র মধ্যকার লিংককে বলে?

(ক) Backhaul
(খ) Midhaul
(গ) Fronthaul
(ঘ) Sidehaul

উত্তর: (গ) — RRU–BBU = Fronthaul।

2. LTE 20 MHz, ১ অ্যান্টেনার CPRI রেট?

(ক) 614.4 Mbps
(খ) 1228.8 Mbps
(গ) 2457.6 Mbps
(ঘ) 4915.2 Mbps

উত্তর: (খ) — 30.72M×2×15×16/15×10/8।

3. O-RAN Alliance-এ Near-RT RIC কত সময়ের কন্ট্রোল লুপ চালায়?

(ক) < 1 ms
(খ) 10 ms – 1 s
(গ) > 1 s
(ঘ) কয়েক ঘণ্টা

উত্তর: (খ) — Near-RT = 10 ms–1 s; Non-RT > 1 s।

4. A1 ইন্টারফেস কোথায়?

(ক) Near-RT RIC – CU
(খ) Non-RT RIC – Near-RT RIC
(গ) DU – RU
(ঘ) SMO – O-Cloud

উত্তর: (খ) — নীতি/ML মডেল পাঠায়।

5. E2 ইন্টারফেস কাদের যুক্ত করে?

(ক) SMO–O-Cloud
(খ) Near-RT RIC – O-CU/O-DU
(গ) RU–DU
(ঘ) CU–কোর

উত্তর: (খ) — নিয়ন্ত্রণ ও টেলিমেট্রি।

6. Open Fronthaul-এ O-RAN কোন স্প্লিট ব্যবহার করে?

(ক) Option 2
(খ) Option 6
(গ) Option 7.2x
(ঘ) Option 8

উত্তর: (গ) — Option 8 = CPRI।

7. F1 ইন্টারফেস কোথায়?

(ক) CU–DU
(খ) DU–RU
(গ) gNB–gNB
(ঘ) UE–gNB

উত্তর: (ক) — Option 2 স্প্লিট — Midhaul।

8. xApp কোথায় চলে?

(ক) Non-RT RIC
(খ) Near-RT RIC
(গ) O-RU
(ঘ) UPF

উত্তর: (খ) — xApp = Near-RT, rApp = Non-RT।

9. Massive MIMO-তে CPRI অচল হওয়ার প্রধান কারণ?

(ক) লেটেন্সি কম

(খ) ফ্রন্টহল বিটরেট অ্যান্টেনা সংখ্যার সাথে রৈখিকভাবে বাড়ে

(গ) ফ্রিকোয়েন্সি কম

(ঘ) পাওয়ার কম

উত্তর: (খ) — প্রতি অ্যান্টেনায় ~4.9 Gbps × 64।

10. O1 ইন্টারফেসের কাজ?

(ক) ইউজার ডেটা

(খ) SMO ↔ নোড ব্যবস্থাপনা (FCAPS)

(গ) UE নিয়ন্ত্রণ

(ঘ) চার্জিং

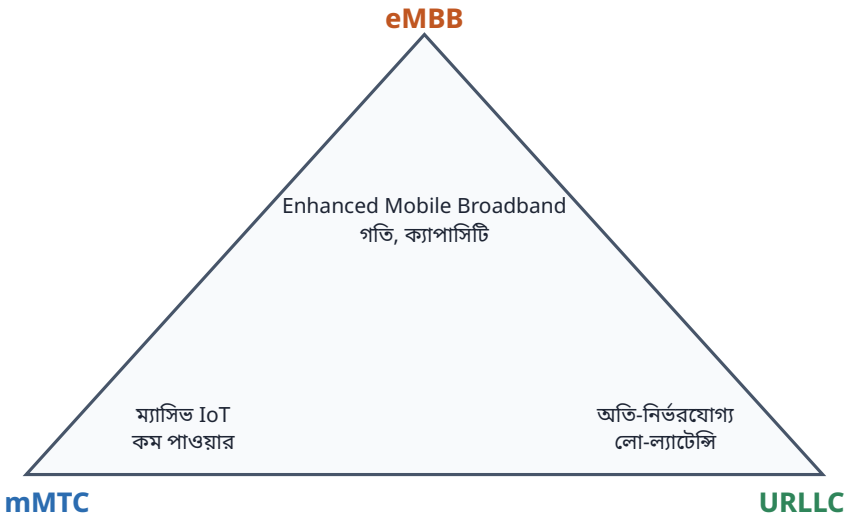
উত্তর: (খ) — O1 = Operations & Maintenance।

অধ্যায় ৮ — ৫জি নেটওয়ার্ক স্লাইসিং

5G Network Slicing

৮.১ আইডিয়া: একই নেটওয়ার্ক, ভিন্ন প্রয়োজন

৫জি-কে ৩ ধরনের সম্পূর্ণ ভিন্ন সার্ভিস দিতে হয়, যাদের চাহিদা পরস্পরবিরোধী। সব একসাথে এক নেটওয়ার্কে মেটানো কঠিন — তাই **Network Slicing**: একটি ফিজিক্যাল নেটওয়ার্ককে লজিক্যালি একাধিক **আইসোলেটেড এন্ড-টু-এন্ড ভার্চুয়াল নেটওয়ার্কে** (slice) ভাগ করা, প্রতিটি নির্দিষ্ট সার্ভিসের জন্য টিউন করা।

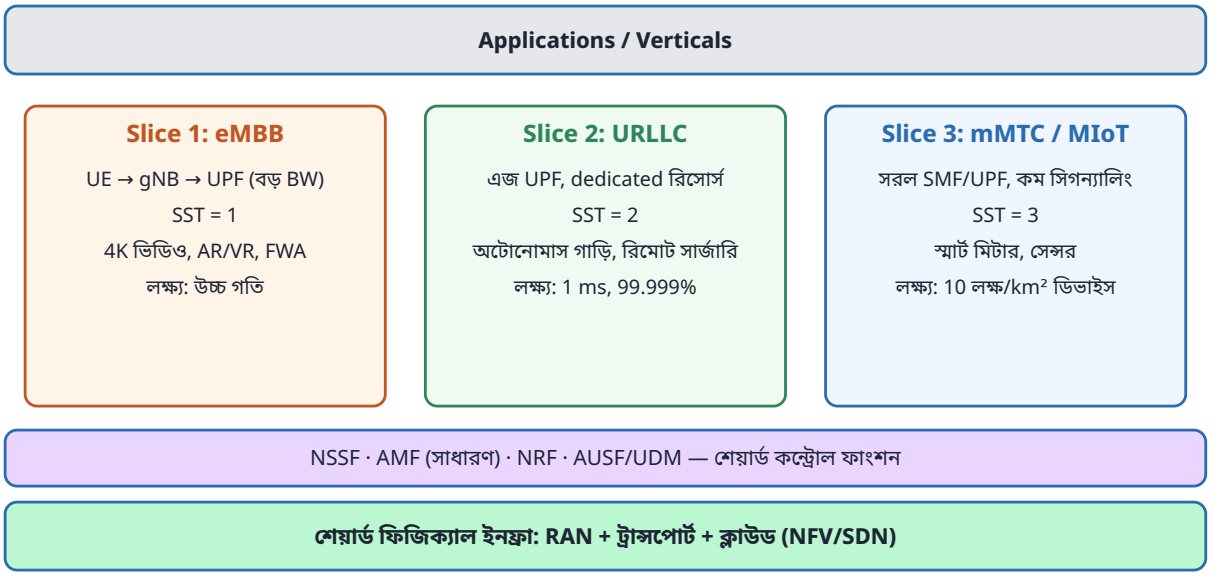


চিত্র ৮.১: ৫জি-র তিন ব্যবহার-ক্ষেত্র (IMT-2020 ত্রিভুজ)

ক্ষেত্র	লক্ষ্য	উদাহরণ
eMBB	পিক ডেটারেট DL 20 Gbps / UL 10 Gbps; ইউজার-অভিজ্ঞ 100/50 Mbps	4K/8K ভিডিও, AR/VR, FWA
URLLC	এয়ার ইন্টারফেস লেটেন্সি 1 ms; নির্ভরযোগ্যতা ≈ 99.999%	অটোনোমাস ড্রাইভিং, রিমোট সার্জারি, ফ্যাক্টরি অটোমেশন
mMTC	10 লক্ষ ডিভাইস/km²; কম পাওয়ার, দীর্ঘ ব্যাটারি	স্মার্ট মিটার, কৃষি-সেন্সর, ট্র্যাকার

অন্যান্য IMT-2020 লক্ষ্য: মবিলিটি 500 km/h, স্পেকট্রাল এফিশিয়েন্সি 3× IMT-Advanced, এরিয়া ট্রাফিক ক্যাপাসিটি 10 Mbps/m²।

৮.২ স্লাইসের গঠন



চিত্র ৮.২: শেয়ার্ড ইনফ্রায় তিনটি স্লাইস

প্রতিটি slice-এ থাকতে পারে: নিজস্ব **RAN রিসোর্স** (PRB/ক্যাপাসিটি ভাগ), **ট্রান্সপোর্ট** (VLAN/VPN/Segment Routing/FlexE), এবং **কোর NF** (আলাদা SMF/UPF)। সব মিলে **end-to-end** slice।

> **S-NSSAI ও পরিভাষা**
>
> **S-NSSAI** (Single Network Slice Selection Assistance Information) = **SST** (Slice/Service Type, ৮ বিট) + ঐচ্ছিক **SD** (Slice Differentiator, ২৪ বিট)। প্রমিত SST: **1 = eMBB, 2 = URLLC, 3 = MIoT (mMTC), 4 = V2X**। **NSSAI** = S-NSSAI-র সেট। UE রেজিস্ট্রেশনে Requested NSSAI পাঠায়; নেটওয়ার্ক Allowed NSSAI জানায়। **NSI** = Network Slice Instance।

৮.৩ স্লাইস নির্বাচন কীভাবে হয়?

1. UE **Registration Request**-এ Requested NSSAI পাঠায়।
2. **AMF** সাবস্ক্রিপশন (UDM থেকে Subscribed S-NSSAI) যাচাই করে; দরকারে **NSSF**-কে জিজ্ঞেস করে কোন slice/AMF সেট উপযুক্ত।
3. AMF **Allowed NSSAI** UE-কে জানায় (Registration Accept)।
4. UE **PDU Session Establishment**-এ নির্দিষ্ট S-NSSAI চায়; AMF **NRF** দিয়ে সঠিক slice-এর **SMF** খুঁজে নেয়; SMF সংশ্লিষ্ট **UPF** বাছে।

> **NSSF-এর কাজ**
>
> 'এই UE কোন কোন slice পাবে এবং কোন AMF/NSI ওটা সার্ভ করবে' — এই সিদ্ধান্ত।

৮.৪ সক্ষমকারী প্রযুক্তি

প্রযুক্তি	slicing-এ ভূমিকা
NFV	VNF/CNF তৎক্ষণাৎ ডিপ্লয়, স্কেল
SDN	ট্রান্সপোর্টে ডাইনামিক পাথ ও QoS
SBA (5GC)	মডুলার NF — প্রতি slice-এ কাস্টম NF সেট
RAN শেয়ারিং	PRB পার্টিশনিং, slice-aware scheduler
MANO/Orchestrator	slice-এর লাইফসাইকেল (তৈরি→চালু→পরিবর্তন→বন্ধ)

Slice লাইফসাইকেল: Preparation → Commissioning → Operation (monitoring, modification) → Decommissioning। GSMA **GST/NEST** টেমপ্লেটে slice-এর বৈশিষ্ট্য (latency, throughput, isolation) বর্ণনা করা হয়।

আইসোলেশন ও SLA

- এক slice-এ ওভারলোড হলে অন্যটি যেন প্রভাবিত না হয় (resource, security, management isolation)।
- প্রতিটি slice-এর **SLA**: latency, jitter, throughput, availability।

উদাহরণ: বিজনেস কেস
একটি অপারেটর ফ্যাক্টরিকে URLLC slice দেয়: এজ UPF (ফ্যাক্টরির পাশে), 5QI delay-critical GBR, লেটেন্সি < 10 ms, 99.999% অ্যাভেইলেবিলিটি; একই সময়ে একই RAN-এ সাধারণ ইউজার eMBB slice-এ ভিডিও দেখছে — কেউ কাউকে ব্যাঘাত ঘটাচ্ছে না। অপারেটর প্রতিটি slice আলাদা মূল্যে বিক্রি করতে পারে (Network-as-a-Service)।

অনুশীলনী (MCQ)

1. S-NSSAI-র দুটি অংশ কী কী?

(ক) SST ও SD
(খ) SUPI ও SUCI
(গ) TAC ও PLMN
(ঘ) QFI ও 5QI

উত্তর: (ক) — SST (Slice/Service Type) + SD (Slice Differentiator)।

2. SST = 2 কোন ধরনের স্লাইস?

(ক) eMBB
(খ) URLLC
(গ) MIoT
(ঘ) V2X

উত্তর: (খ) — 1 eMBB, 2 URLLC, 3 MIoT, 4 V2X।

3. কোন NF slice সিলেকশনে সহায়তা করে?

(ক) NSSF
(খ) UPF
(গ) PCF
(ঘ) EIR

উত্তর: (ক) — Network Slice Selection Function।

4. URLLC-এর এয়ার-ইন্টারফেস লেটেন্সি লক্ষ্য?

(ক) 10 ms
(খ) 1 ms
(গ) 100 ms
(ঘ) 1 s

উত্তর: (খ) — IMT-2020: 1 ms।

5. mMTC-র ডিভাইস ঘনত্ব লক্ষ্য?

(ক) $10^3/km^2$ (খ) $10^4/km^2$

(গ) $10^6/km^2$ (ঘ) $10^9/km^2$

উত্তর: (গ) — ১০ লক্ষ/km^2।

6. 5G eMBB-র পিক ডাউনলিংক লক্ষ্য?

(ক) 1 Gbps (খ) 10 Gbps

(গ) 20 Gbps (ঘ) 100 Gbps

উত্তর: (গ) — IMT-2020 peak DL 20 Gbps।

7. কোন প্রযুক্তি স্লাইসে ট্রান্সপোর্ট লেয়ারে হার্ড আইসোলেশন দিতে পারে?

(ক) FlexE (খ) ARP

(গ) DHCP (ঘ) STP

উত্তর: (ক) — FlexE চ্যানেলাইজেশন।

8. Allowed NSSAI কে জানায়?

(ক) AMF (খ) UPF

(গ) gNB (ঘ) HSS

উত্তর: (ক) — Registration Accept-এ AMF।

9. slice-এর জন্য উপযুক্ত SMF কীভাবে খুঁজে পাওয়া যায়?

(ক) NRF-এর মাধ্যমে ডিসকভারি (খ) ম্যানুয়াল

(গ) DNS শুধুমাত্র (ঘ) ARP

উত্তর: (ক) — NF discovery — NRF।

অধ্যায় ৯ — প্যাকেট সুইচিং, কল কন্ট্রোল ও সার্কিট থেকে প্যাকেট কোরে বিবর্তন

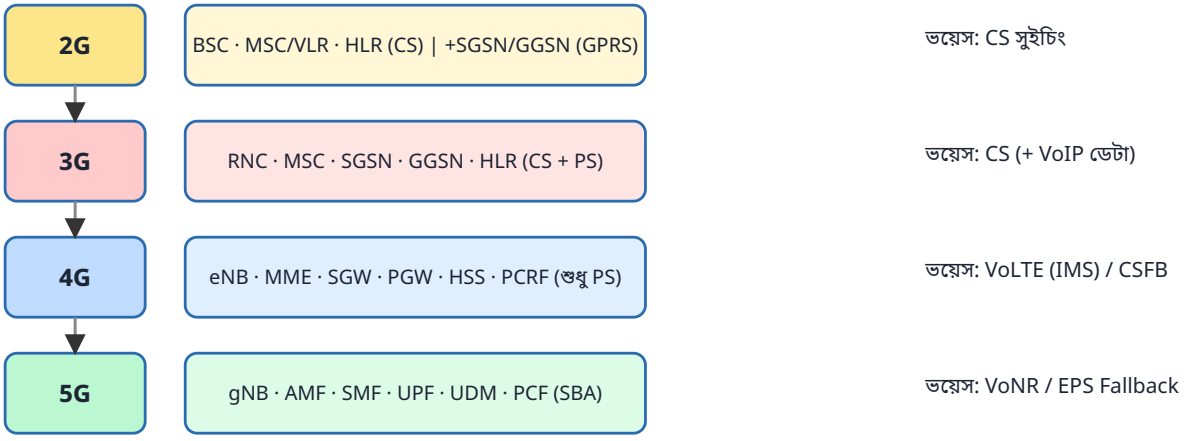
Packet Switching and Call Control · Evolution to EPC & 5GC

৯.১ প্যাকেট সুইচিং ও কল কন্ট্রোল

কল কন্ট্রোল মানে একটি কলের জীবনচক্র নিয়ন্ত্রণ: *সেটআপ → চলমান → রিলিজ*, সাথে নম্বর অ্যানালাইসিস, রাউটিং, বিলিং, সার্ভিস (কল ফরওয়ার্ড, ওয়েটিং)। পুরোনো সার্কিট নেটওয়ার্কে কল কন্ট্রোল ছিল **MSC-এ** (ISUP সিগন্যালিং-এ), বেয়ারার ও সিগন্যালিং একসাথে বাঁধা। প্যাকেট নেটওয়ার্কে এই কাজ **SIP** দিয়ে **IMS** করে, আর ভয়েস প্যাকেট (RTP) আলাদাভাবে ইউজার-প্লেনে চলে।

> **Softswitch / ডিকাপলিং (3GPP R4)**
> MSC-কে ভেঙে **MSC Server** (কন্ট্রোল) ও **MGW** (Media Gateway — বেয়ারার/ট্রান্সকোডিং) করা হয়। MSC-S ও MGW-র মধ্যে **H.248/MEGACO**; MSC-S ↔ MSC-S-এ **BICC/SIP-I**। এটাই IMS-এর পথ তৈরি করেছে: কন্ট্রোল ও মিডিয়া আলাদা।

৯.২ সার্কিট থেকে প্যাকেট কোর: বিবর্তন



চিত্র ৯.১: ২জি থেকে ৫জি — কোরের বিবর্তন

- **কেন বিবর্তন?** ডেটা ট্রাফিক বিস্ফোরণ, একক IP নেটওয়ার্ক (CAPEX/OPEX কম), কম লেটেন্সি, কম নোড (flat), ভয়েস-ডেটা একীভূতকরণ।
- **৩জি → ৪জি:** RNC বিলুপ্ত; MSC-র জায়গায় IMS; SGSN/GGSN → MME + SGW + PGW; পুরো নেটওয়ার্ক IP।
- **৪জি → ৫জি:** EPC-র কোর ফাংশন ভেঙে মাইক্রোসার্ভিস; SBA (HTTP/2); CUPS; স্লাইসিং; ক্লাউড-নেটিভ।

বিষয়	EPC (4G)	5GC
আর্কিটেকচার	পয়েন্ট-টু-পয়েন্ট ইন্টারফেস (S1, S5, S6a…)	Service-Based (Nxxx সার্ভিস, REST)
সিগন্যালিং প্রোটোকল	GTP-C, Diameter, S1AP	HTTP/2 + JSON, NGAP, PFCP (N4)
মবিলিটি + সেশন	MME-তে একত্রে	AMF (মবিলিটি) ও SMF (সেশন) আলাদা
QoS মডেল	বেয়ারার-ভিত্তিক (QCI)	ফ্লো-ভিত্তিক (QFI/5QI)
ইউজার আইডি	IMSI, GUTI	SUPI (লুকানো: SUCI), 5G-GUTI
স্লাইসিং	সীমিত (DECOR)	নেটিভ (S-NSSAI)
ডিপ্লয়মেন্ট	VNF/VM	CNF/কনটেইনার, ক্লাউড-নেটিভ
অ্যাক্সেস	শুধু 3GPP (LTE)	3GPP + non-3GPP (Wi-Fi, N3IWF)

৯.৩ ৪জি-তে ভয়েস কীভাবে চলে?

LTE শুধু PS, তাই কোরে CS ভয়েস নেই। সমাধান:

পদ্ধতি	কীভাবে	সুবিধা/অসুবিধা
CSFB (CS Fallback)	কল এলে/করলে UE 2G/3G-তে নেমে যায়, ওখানে CS কল	ডিলে বেশি (≈ 1–2 s অতিরিক্ত সেটআপ); LTE ডেটা বন্ধ বা ধীর হয়ে যায়
VoLTE	IMS-এর মাধ্যমে LTE-তেই ভয়েস (QCI 1 বেয়ারার)	HD ভয়েস (AMR-WB), দ্রুত সেটআপ, ডেটা একসাথে
SRVCC	VoLTE কল চলাকালীন LTE কভারেজ শেষ হলে CS-এ হ্যান্ডওভার (MSC-S Enhanced)	কল ড্রপ হয় না
VoNR / EPS Fallback	৫জি-তে সরাসরি IMS ভয়েস / ৫জি কভারেজ-এ না পেলে LTE-তে ফল-ব্যাক	SA নেটওয়ার্কে প্রাথমিক পদ্ধতি EPS Fallback

৯.৪ সিগন্যালিং নেটওয়ার্ক বিবর্তন

- **SS7** (MTP, SCCP, TCAP, ISUP, MAP) → **SIGTRAN** (SS7 over IP: M3UA, SCTP) → **Diameter** (4G) → **HTTP/2 SBI** (5G)।
- Diameter-এ রাউটিং ও লোড ব্যালান্সিং-এর জন্য **DRA** (Diameter Routing Agent); 5G-তে **SCP** (Service Communication Proxy)।
- **SEPP** (Security Edge Protection Proxy) — ৫জি-তে রোমিং পার্টনারের মধ্যে সিগন্যালিং সুরক্ষা।

উদাহরণ: সিগন্যালিং লোড অনুমান

একটি MME প্রতি সেকেন্ডে 5000 attach/TAU/service-request প্রসেস করতে পারে। ব্যস্ত ঘণ্টায় ২০ লক্ষ ইউজার, প্রতি ইউজার প্রতি ঘণ্টায় গড়ে ৩টি সিগন্যালিং ঘটনা ⇒ মোট = 6×10^6/ঘণ্টা = 1667/সেকেন্ড। একটি MME-তে ≈ 33% লোড; N+1 রিডান্ডেন্সি ও ৫০% সর্বোচ্চ ব্যবহারে ২টি MME যথেষ্ট। (সংখ্যাগুলো উদাহরণস্বরূপ — প্রশ্নে যা দেওয়া থাকবে তাই ব্যবহার করবেন।)

অনুশীলনী (MCQ)

1. ৩জিপিপি R4-এ MSC কোন দুটি অংশে ভাগ হয়?

(ক) MSC Server ও MGW
(খ) MME ও SGW
(গ) SGSN ও GGSN
(ঘ) BSC ও RNC

উত্তর: (ক) — কন্ট্রোল ও বেয়ারার আলাদা।

2. MSC Server ও MGW-র মধ্যে ব্যবহৃত প্রোটোকল?

(ক) SIP
(খ) H.248/MEGACO
(গ) GTP
(ঘ) BGP

উত্তর: (খ) — Mc ইন্টারফেস — H.248।

3. 4G-তে কোন নোড বিলুপ্ত হয়েছে?

(ক) BSC
(খ) RNC
(গ) HLR
(ঘ) MSC

উত্তর: (খ) — RNC (3G) → eNB-তে একীভূত।

4. CSFB-এর প্রধান অসুবিধা?

(ক) HD ভয়েস
(খ) কল সেটআপ ডিলে বাড়ে
(গ) ডেটা স্পিড বাড়ে
(ঘ) কোর খরচ কমে

উত্তর: (খ) — 2G/3G-তে নেমে আসার সময়।

5. VoLTE কল চলাকালীন LTE সিগন্যাল শেষ হলে কল বাঁচায় কোন পদ্ধতি?

(ক) CSFB
(খ) SRVCC
(গ) CGNAT
(ঘ) SON

উত্তর: (খ) — Single Radio Voice Call Continuity।

6. 5GC-তে সিগন্যালিং-এ প্রধান প্রোটোকল?

(ক) Diameter
(খ) HTTP/2 (SBI)
(গ) SS7
(ঘ) SIP only

উত্তর: (খ) — SBA = HTTP/2 + JSON।

7. 5G-তে SUPI-র সুরক্ষিত রূপ কী?

(ক) GUTI
(খ) SUCI
(গ) TMSI
(ঘ) MSISDN

উত্তর: (খ) — Subscription Concealed Identifier।

8. Diameter রাউটিং-এর জন্য কোন নোড?

(ক) DRA
(খ) SCP
(গ) EIR
(ঘ) GMSC

উত্তর: (ক) — 5G-তে SCP; রোমিং সুরক্ষা SEPP।

9. ৫জি কোরে মবিলিটি ও সেশন ম্যানেজমেন্ট আলাদা হয় কোন ফাংশনে?

(ক) AMF ও SMF
(খ) MME ও SGW
(গ) UDM ও AUSF
(ঘ) NRF ও NSSF

উত্তর: (ক) — AMF = মবিলিটি; SMF = সেশন।

অধ্যায় ১০ — কল ফ্লো, সেশন ম্যানেজমেন্ট ও মবিলিটি কন্ট্রোল

Call Flow, Session Management, and Mobility Control

১০.১ প্রস্তুতি: পরিচয় ও অবস্থা

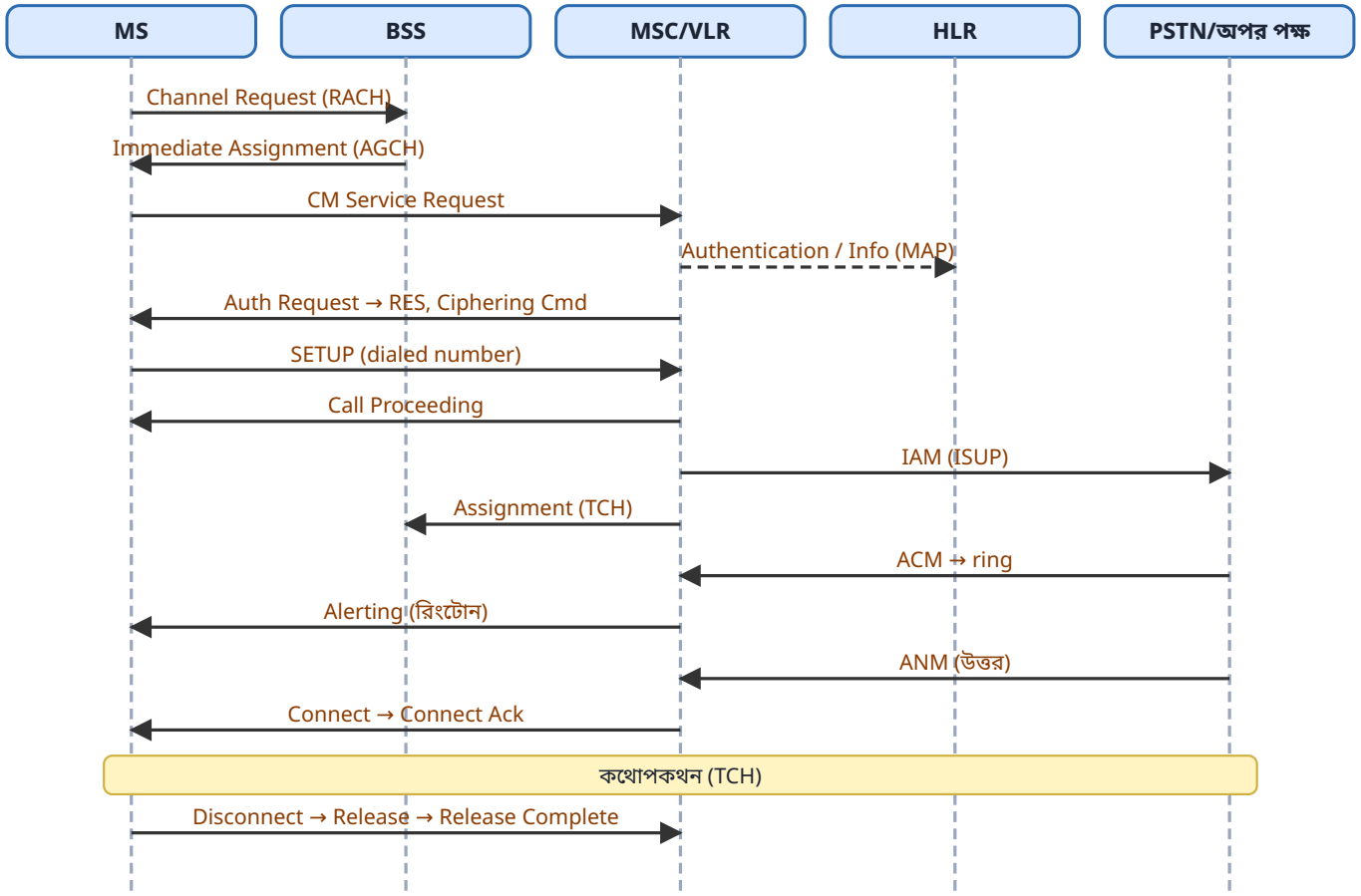
কল/সেশন ফ্লো বুঝতে আগে জানুন কে কী চেনে (বিস্তারিত অধ্যায় ১২):

আইডি	অর্থ	কে ব্যবহার করে
IMSI/SUPI	সিমের স্থায়ী পরিচয়	HLR/HSS/UDM
TMSI / GUTI / 5G-GUTI	অস্থায়ী পরিচয় (IMSI গোপন রাখতে)	VLR, MME, AMF
MSISDN	ফোন নম্বর	ইউজার/বিলিং/রাউটিং
IMEI	ডিভাইসের পরিচয়	EIR
TAI / LAI	ট্র্যাকিং/লোকেশন এরিয়া	পেজিং

মোবিলিটি/কানেকশন স্টেট

স্তর	স্টেট	অর্থ
RRC (LTE)	IDLE / CONNECTED	RRC কানেকশন আছে কি না; IDLE-এ ব্যাটারি সাশ্রয়, cell reselection UE নিজে করে
RRC (NR)	IDLE / **INACTIVE** / CONNECTED	INACTIVE: দ্রুত রিজিউম, কম সিগন্যালিং — 5G-র নতুন
NAS (4G)	EMM-DEREGISTERED/REGISTERED; ECM-IDLE/CONNECTED	নেটওয়ার্কে রেজিস্টার্ড কি না; সিগন্যালিং সংযোগ আছে কি না
NAS (5G)	RM-DEREGISTERED/REGISTERED; CM-IDLE/CONNECTED	RM = রেজিস্ট্রেশন, CM = কানেকশন

১০.২ GSM মোবাইল অরিজিনেটেড কল (MOC)

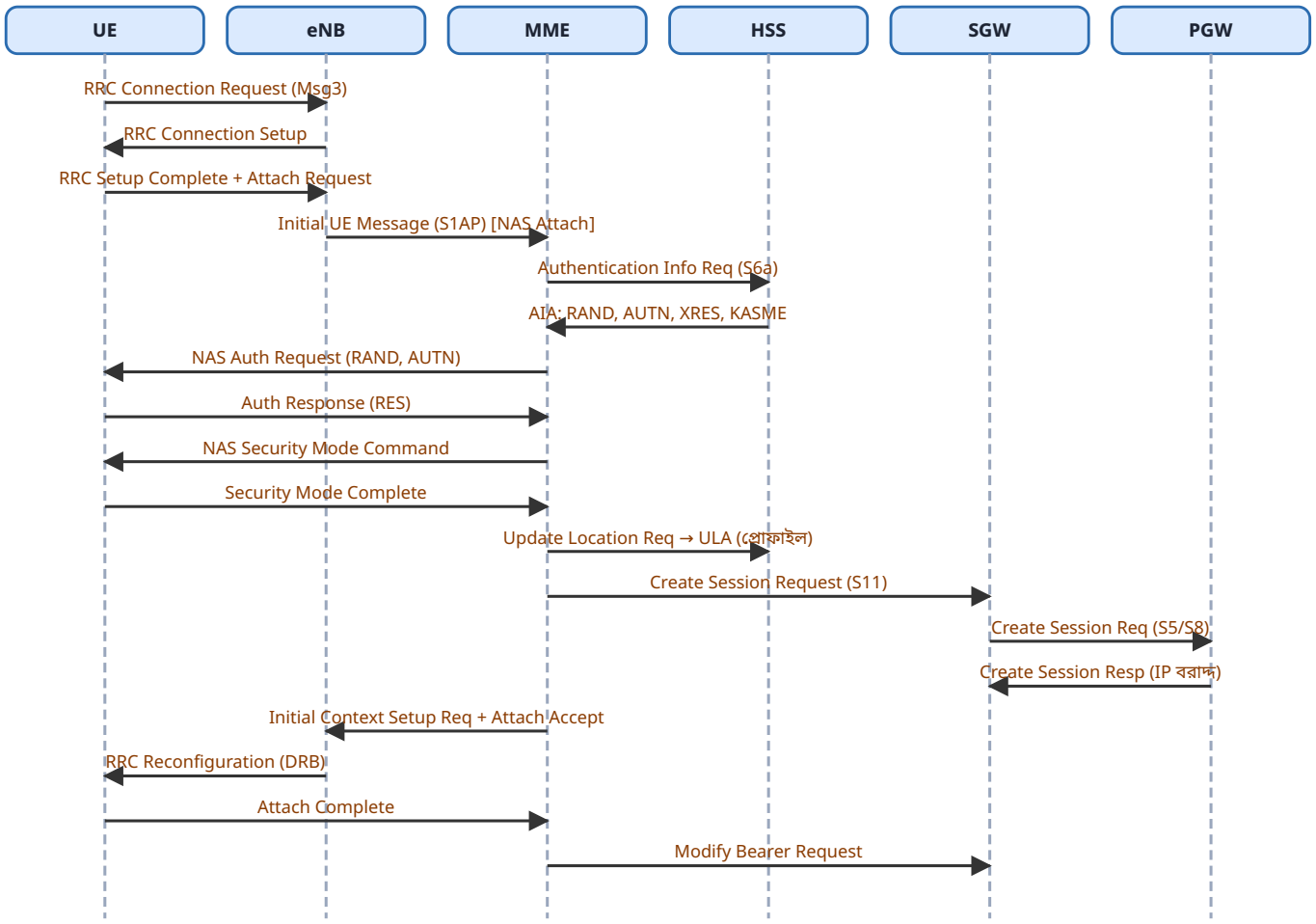


চিত্র ১০.১: GSM MOC কল ফ্লো (সরল)

মোবাইল টার্মিনেটেড কল (MTC) — মূল ধারণা: (১) কলকারী নেটওয়ার্ক **GMSC**-তে পৌঁছায়। (২) GMSC **HLR**-কে জিজ্ঞেস করে (**SRI** — Send Routing Information)। (৩) HLR জানে MS কোন VLR/MSC-এ; সেই VLR-কে **PRN** (Provide Roaming Number) পাঠায় → VLR একটি অস্থায়ী **MSRN** বরাদ্দ করে। (৪) HLR MSRN GMSC-কে দেয়; GMSC কল রাউট করে ভিজিটেড MSC-তে। (৫) MSC **Paging** করে; MS সাড়া দিলে কল সেটআপ। *মূল বুদ্ধি: HLR থেকে "কোথায় আছে" জেনে MSRN দিয়ে রাউট।*

১০.৩ LTE Attach প্রসিডিউর

ফোন অন করলে বা এয়ারপ্লেন মোড বন্ধ করলে যা ঘটে। ধাপগুলো: **RRC সংযোগ → NAS Attach → অথেন্টিকেশন → সিকিউরিটি → লোকেশন আপডেট (HSS) → সেশন/বেয়ারার তৈরি (SGW/PGW) → IP বরাদ্দ → রেডিও বেয়ারার সেটআপ**।



চিত্র ১০.২: LTE Initial Attach (সরল)

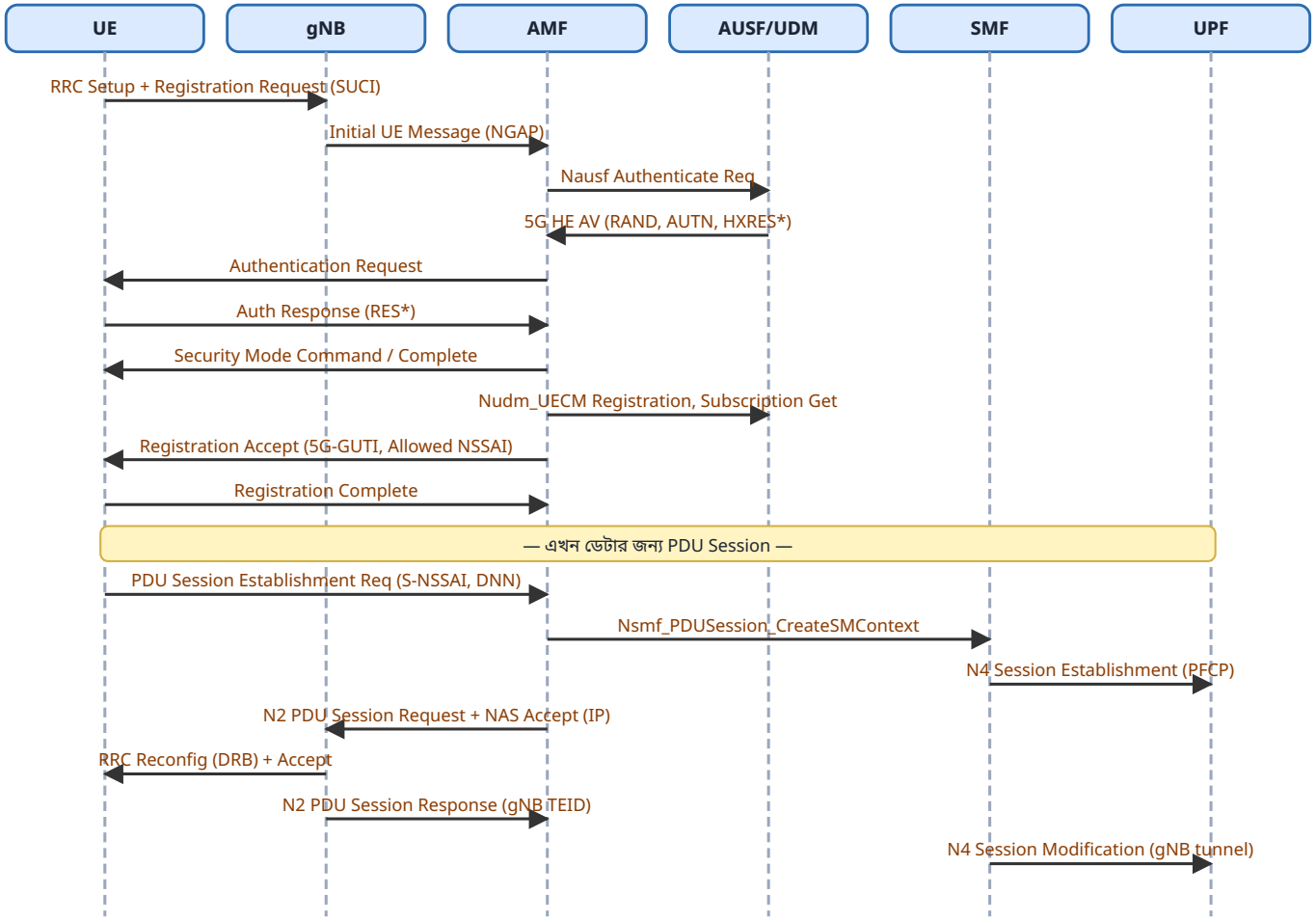
র‍্যান্ডম অ্যাক্সেস (RACH) — ৪ ধাপ: Msg1 (preamble, ৬৪টির মধ্যে একটি) → Msg2 (RAR — timing advance, grant) → Msg3 (RRC Connection Request) → Msg4 (Contention Resolution/RRC Setup)।

Timing Advance: $TA = 2d / c$ (LTE-তে 1 TA ধাপ = 16 $T_s \approx 0.52\ \mu s \approx 78$ মিটার দূরত্ব)

উদাহরণ: রাউন্ড-ট্রিপ ডিলে

ইউজার সেল থেকে 10 km দূরে: একমুখী ডিলে = $10{,}000 / 3\times10^8 = 33.3\ \mu s$; রাউন্ড-ট্রিপ = **66.7 µs**। LTE-তে সর্বোচ্চ সেল ব্যাসার্ধ ≈ 100 km (PRACH ফরম্যাট 3), GSM-এ TA সীমা ≈ 35 km।

১০.৪ ৫জি রেজিস্ট্রেশন ও PDU সেশন



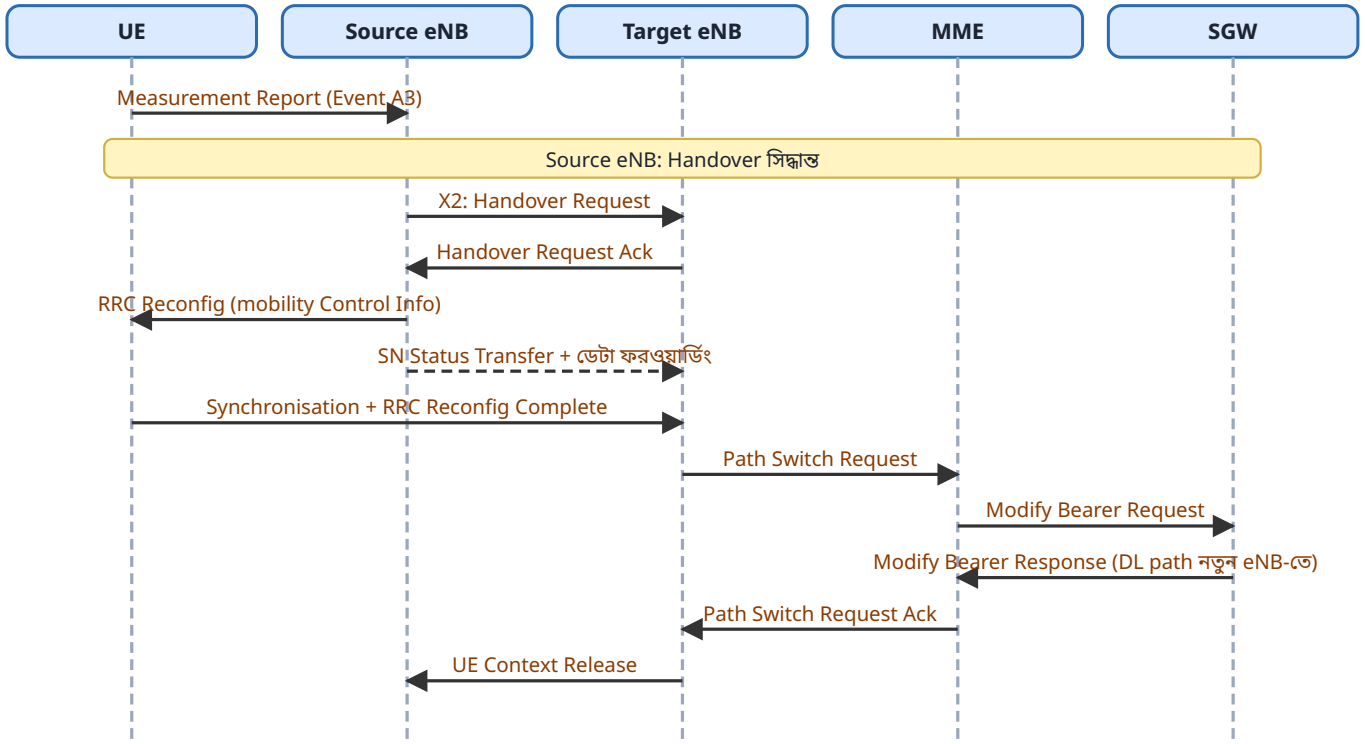
চিত্র ১০.৩: 5G Registration ও PDU Session Establishment (সরল)

- **Registration** (RM-REGISTERED): UE-কে নেটওয়ার্কে চেনা হয়, অথেন্টিকেশন, Allowed NSSAI, 5G-GUTI।
- **PDU Session**: ডেটা পাইপ — IP পাওয়া, UPF বাছাই, QoS ফ্লো। প্রকার: IPv4, IPv6, IPv4v6, Ethernet, Unstructured।
- **SSC mode:** 1 = IP অ্যাংকর স্থির; 2 = break-before-make; 3 = make-before-break।

১০.৫ আইডল মবিলিটি: Cell Reselection, TAU, Paging

- **Cell reselection** — UE নিজে রেডিও মাপে (RSRP/RSRQ) ভালো সেল বেছে নেয় (priority, hysteresis)।
- **TAU (Tracking Area Update)** — নতুন Tracking Area-তে ঢুকলে UE নেটওয়ার্ককে জানায় (বা পর্যায়ক্রমিক টাইমার)। 5G-তে: **Registration Update**।
- **Paging** — নেটওয়ার্ক IDLE UE-কে খোঁজে; পুরো **TA list**-এর সব সেলে প্যাকেট পেজ পাঠায়। TA বড় ⇒ TAU কম কিন্তু paging লোড বেশি; ছোট ⇒ উল্টো। (ট্রেড-অফ!)

১০.৬ কানেক্টেড মবিলিটি: হ্যান্ডওভার



চিত্র ১০.৪: LTE X2 হ্যান্ডওভার (সরল)

Event A3 শর্ত

$$M_n + O_{fn} + O_{cn} - Hys \;>\; M_s + O_{fs} + O_{cs} + Off$$

M = RSRP; n = প্রতিবেশী; s = সার্ভিং; Hys = হিস্টেরেসিস; Off = অফসেট। শর্ত **Time-to-Trigger (TTT)** সময় ধরে সত্য থাকলে Measurement Report যায়।

উদাহরণ: A3 ইভেন্ট ট্রিগার হবে?

M_s = −95 dBm, Hys = 1 dB, Off = 3 dB (O_f, O_c = 0)।

(ক) M_n = −92: −92 − 1 = −93 > −95 + 3 = −92 ? **না** (−93 > −92 মিথ্যা)।

(খ) M_n = −89: −89 − 1 = −90 > −92 ? **হ্যাঁ** ⇒ রিপোর্ট।

অর্থাৎ প্রতিবেশীকে সার্ভিং-এর চেয়ে Off + Hys = 4 dB বেশি ভালো হতে হবে → ping-pong কমে।

- **X2 হ্যান্ডওভার:** eNB-eNB সরাসরি; MME অপরিবর্তিত; শেষে Path Switch। **S1 হ্যান্ডওভার:** X2 না থাকলে/MME বদলালে MME-র মাধ্যমে।
- **Data forwarding:** হ্যান্ডওভারের সময় source → target-এ বাফারড প্যাকেট পাঠানো, যাতে ডেটা হারায় না (lossless)।
- **Inter-RAT:** LTE ↔ 3G/2G/NR। 5G: **Xn** হ্যান্ডওভার (gNB–gNB) বা **N2** (AMF-র মাধ্যমে)।
- **KPI:** HOSR (Handover Success Rate) ≥ 98–99% লক্ষ্য; drop কল মূলত খারাপ হ্যান্ডওভার/ইন্টারফারেন্স থেকে।

অনুশীলনী (MCQ)

1. GSM MTC-তে GMSC কাকে SRI পাঠায়?

(ক) VLR (খ) HLR
(গ) BSC (ঘ) EIR

উত্তর: (খ) — HLR → PRN → MSRN।

2. MSRN কে বরাদ্দ করে?

(ক) HLR (খ) VLR
(গ) GMSC (ঘ) AuC

উত্তর: (খ) — VLR (HLR-এর PRN অনুরোধে)।

3. LTE RACH-এ Msg3 কী?

(ক) Preamble (খ) RAR
(গ) RRC Connection Request (ঘ) Contention Resolution

উত্তর: (গ) — Msg1 preamble, Msg2 RAR, Msg3 RRC Conn Req, Msg4 resolution।

4. LTE Attach-এ default bearer ও IP বরাদ্দ কোন নোডে সম্পন্ন হয়?

(ক) eNB (খ) PGW
(গ) HSS (ঘ) EIR

উত্তর: (খ) — PGW Create Session Response-এ IP দেয়।

5. X2 হ্যান্ডওভারের শেষে কোন বার্তা পথ বদলায়?

(ক) Path Switch Request (খ) Paging
(গ) TAU (ঘ) Attach

উত্তর: (ক) — eNB → MME → SGW বেয়ারার পাথ আপডেট।

6. 5G-র নতুন RRC স্টেট কোনটি?

(ক) RRC_IDLE (খ) RRC_INACTIVE
(গ) RRC_CONNECTED (ঘ) RRC_SLEEP

উত্তর: (খ) — INACTIVE।

7. TA ছোট করলে সাধারণত কী হয়?

(ক) TAU কমে, paging বাড়ে (খ) TAU বাড়ে, paging কমে
(গ) দুটোই বাড়ে (ঘ) কিছুই না

উত্তর: (খ) — ছোট TA → বেশি TAU, কম paging সেল।

8. Event A3 কী নির্দেশ করে?

(ক) সার্ভিং সেল খুব ভালো (খ) প্রতিবেশী সেল সার্ভিং-এর চেয়ে offset বেশি ভালো
(গ) সেল ঘনত্ব বেশি (ঘ) UE ব্যাটারি কম

উত্তর: (খ) — A3 = neighbour becomes offset better।

9. 5G PDU সেশন তৈরির অনুরোধ UE কাকে পাঠায় (NAS)?

(ক) AMF (N1) যা SMF-কে ফরওয়ার্ড করে (খ) সরাসরি UPF
(গ) UDM (ঘ) NRF

উত্তর: (ক) — NAS 5GSM বার্তা AMF দিয়ে SMF-এ যায়।

10. সেল থেকে 15 km দূরে ইউজারের রাউন্ড-ট্রিপ প্রোপাগেশন ডিলে?

(ক) 50 µs
(খ) 100 µs
(গ) 150 µs
(ঘ) 300 µs

উত্তর: (খ) — $2\times15000/3\times10^8 = 100$ µs।

11. ping-pong হ্যান্ডওভার কমাতে কী ব্যবহার হয়?

(ক) হিস্টেরেসিস ও TTT
(খ) আরো পাওয়ার
(গ) FDD
(ঘ) MIMO

উত্তর: (ক) — Hys + Time-to-Trigger।

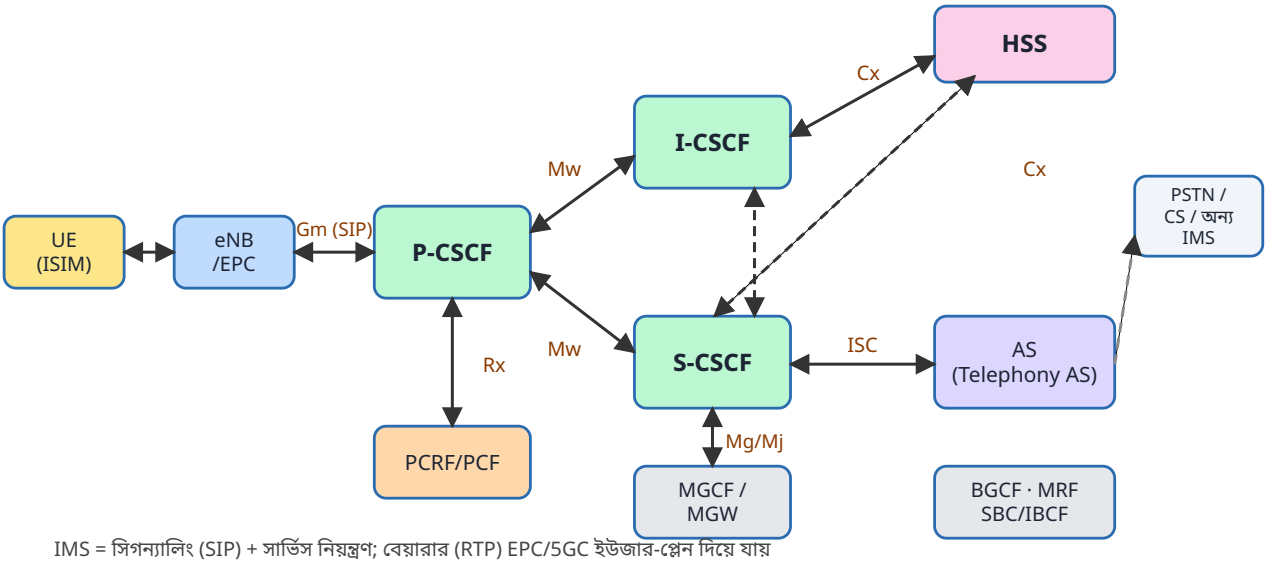
অধ্যায় ১১ — IMS আর্কিটেকচার (ভয়েস ও মাল্টিমিডিয়া সুইচিং)

IMS Architecture for Voice and Multimedia Switching

১১.১ IMS কী ও কেন?

IMS (IP Multimedia Subsystem) হলো ৩জিপিপি-র IP-ভিত্তিক সার্ভিস প্ল্যাটফর্ম, যা **ভয়েস, ভিডিও, মেসেজিং, RCS** সবকিছু একই IP কোরে দেয়। এটি অ্যাক্সেস-নিরপেক্ষ (LTE, NR, Wi-Fi, ফিক্সড)। ৪জি/৫জি কোর শুধু "পাইপ" দেয়; কলের লজিক (কাকে ডাকা হচ্ছে, কোথায় রাউট, কী সার্ভিস, বিলিং) IMS-এ। সিগন্যালিং প্রোটোকল: **SIP** (RFC 3261); মিডিয়া: **RTP/RTCP**; বর্ণনা: **SDP**; AAA: **Diameter**।

১১.২ IMS আর্কিটেকচার



চিত্র ১১.১: IMS আর্কিটেকচার (সরল)

নোড	ভূমিকা
P-CSCF (Proxy)	UE-র **প্রথম যোগাযোগ বিন্দু** (ইনবাউন্ড/আউটবাউন্ড SIP প্রক্সি); IPsec সিকিউরিটি, SIP কমপ্রেশন, ইমার্জেন্সি কল শনাক্ত; Rx দিয়ে PCRF/PCF-এ QoS (বেয়ারার) অনুরোধ
I-CSCF (Interrogating)	হোম নেটওয়ার্কের **প্রবেশদ্বার**; HSS-কে (Cx) জিজ্ঞেস করে কোন S-CSCF; টপোলজি হাইডিং
S-CSCF (Serving)	IMS-এর **মস্তিষ্ক** — Registrar + সেশন কন্ট্রোল; HSS থেকে প্রোফাইল (iFC) ডাউনলোড; AS-এ ট্রিগার (ISC); রাউটিং
HSS	IMS সাবস্ক্রাইবার ডেটা (IMPU, IMPI, iFC), অথেন্টিকেশন ভেক্টর
AS (Application Server)	সার্ভিস লজিক: **TAS** (Telephony AS — কল ফরওয়ার্ড/ওয়েটিং), SCC AS, RCS AS
MGCF / MGW	IMS ↔ PSTN/CS ইন্টারওয়ার্কিং (SIP ↔ ISUP; RTP ↔ TDM; কোডেক ট্রান্সকোডিং)
BGCF	PSTN-এ ব্রেকআউট কোথায় হবে ঠিক করে
MRF	মিডিয়া রিসোর্স (কনফারেন্স, অ্যানাউন্সমেন্ট, IVR)
SBC / IBCF	নেটওয়ার্ক-প্রান্তের সুরক্ষা, ইন্টারকানেক্ট (অপারেটর-টু-অপারেটর), NAT
ENUM / DNS	টেলিফোন নম্বর (E.164) → SIP URI ম্যাপিং

> **মনে রাখুন**
> **P** = UE-র সবচেয়ে কাছে; **I** = হোম নেটওয়ার্কের দরজা; **S** = সার্ভিস সিদ্ধান্ত। HSS-এর সাথে কথা বলে I ও S (Cx), P নয়।

IMS আইডেন্টিটি

- **IMPI** (Private User Identity) — অথেন্টিকেশনের জন্য; `user@ims.mnc004.mcc470.3gppnetwork.org` ধরনের NAI।
- **IMPU** (Public User Identity) — অন্যরা যা দিয়ে ডাকে; `sip:+8801XXXXXXXXX@domain` বা `tel:+8801XXXXXXXXX`।
- **ISIM** — UICC-তে IMS অ্যাপ (না থাকলে USIM থেকে IMSI-ভিত্তিক অস্থায়ী আইডি তৈরি হয়)।
- ডোমেইন ফরম্যাট: `ims.mnc<MNC>.mcc<MCC>.3gppnetwork.org` (MNC ৩ ডিজিটে প্যাড, যেমন টেলিটক MCC 470 / MNC 04 → mnc004.mcc470)।

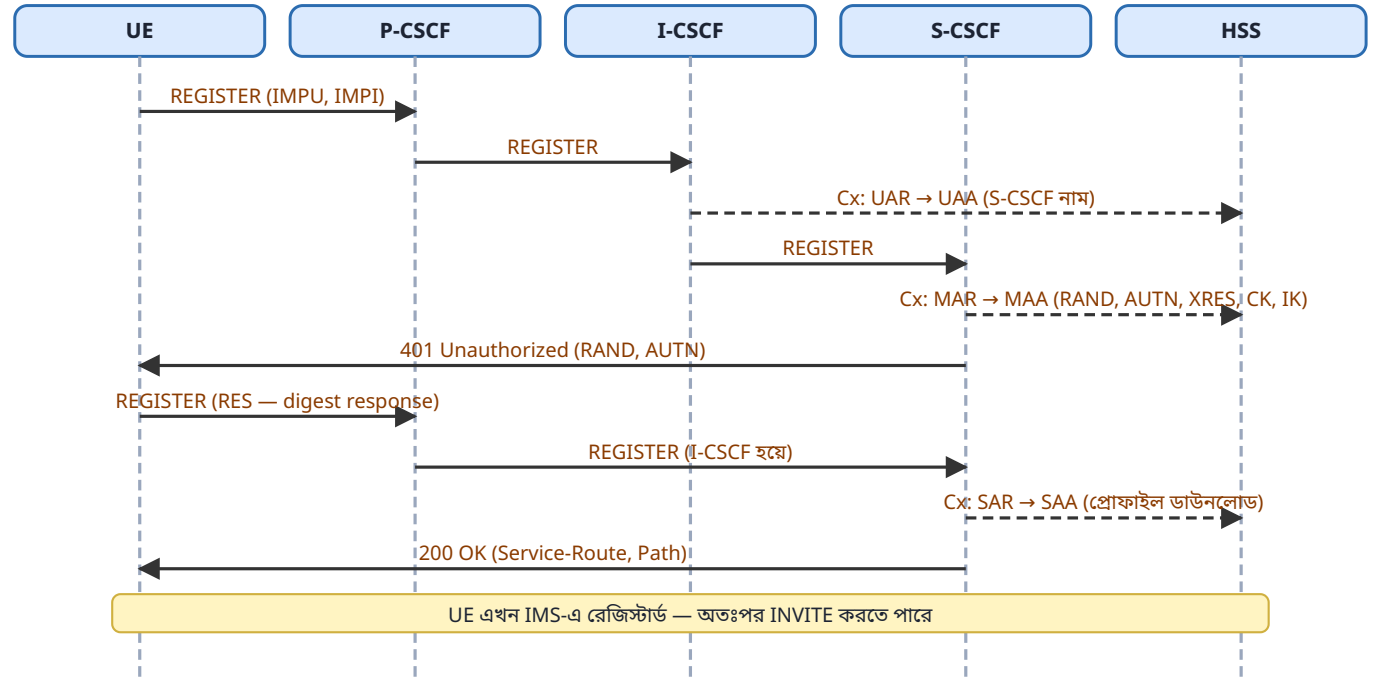
১১.৩ SIP মূল ধারণা

মেথড	কাজ
REGISTER	রেজিস্ট্রেশন
INVITE	সেশন শুরুর অনুরোধ
ACK	চূড়ান্ত রেসপন্সের নিশ্চিতকরণ
BYE	সেশন শেষ
CANCEL	অপেক্ষমান INVITE বাতিল
PRACK	provisional রেসপন্সের নির্ভরযোগ্য ACK
UPDATE	সেশন প্যারামিটার (প্রি-কন্ডিশন) আপডেট
OPTIONS / MESSAGE / SUBSCRIBE / NOTIFY / REFER	ক্ষমতা অনুসন্ধান / টেক্সট / ইভেন্ট সাবস্ক্রিপশন / বিজ্ঞপ্তি / ট্রান্সফার

রেসপন্স শ্রেণি	উদাহরণ
1xx (provisional)	100 Trying, 180 Ringing, 183 Session Progress
2xx (সফল)	200 OK
3xx (রিডাইরেক্ট)	302 Moved Temporarily
4xx (ক্লায়েন্ট ত্রুটি)	401 Unauthorized, 404 Not Found, 408 Timeout, 486 Busy Here
5xx (সার্ভার ত্রুটি)	500 Server Internal Error, 503 Service Unavailable
6xx (গ্লোবাল ব্যর্থতা)	603 Decline

SDP-তে মিডিয়া ধরন, কোডেক, পোর্ট, IP বিনিময় হয় (offer/answer মডেল)। **Preconditions**: রিং করার আগে নিশ্চিত করা যে দুই প্রান্তে QoS বেয়ারার প্রস্তুত — না হলে ফোন বাজলেও ভয়েস নষ্ট হবে।

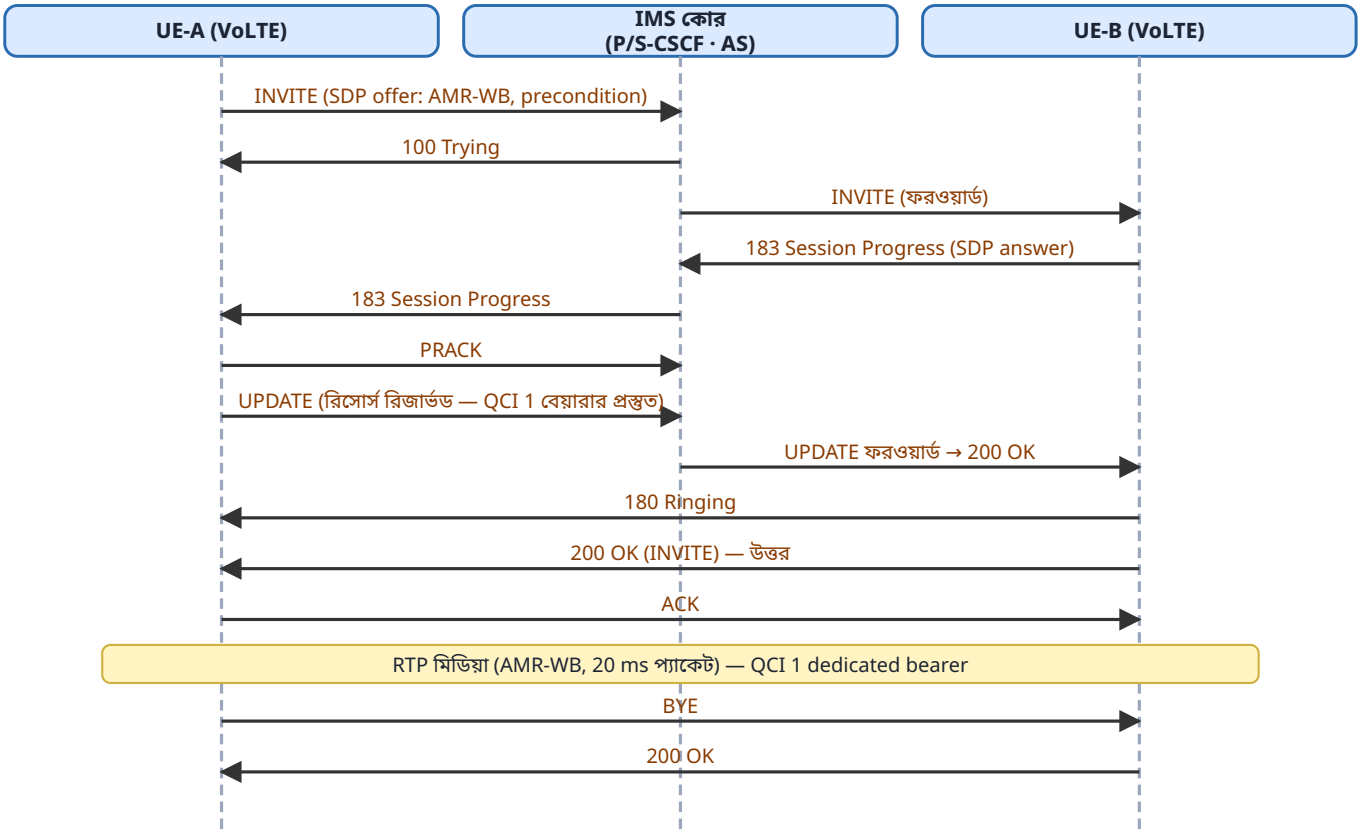
১১.৪ IMS রেজিস্ট্রেশন



চিত্র ১১.২: IMS রেজিস্ট্রেশন (IMS-AKA, দুই-ধাপ)

প্রথম REGISTER-এ অথেন্টিকেশন তথ্য না থাকায় 401 আসে (সাথে RAND, AUTN)। UE ISIM/USIM দিয়ে RES বের করে দ্বিতীয় REGISTER পাঠায়। সফল হলে 200 OK। এরপর UE ও P-CSCF-এর মধ্যে **IPsec** SA তৈরি হয়।

১১.৫ VoLTE কল ফ্লো



চিত্র ১১.৩: VoLTE কল সেটআপ ও রিলিজ (সরল)

- **সিগন্যালিং:** QCI 5 বেয়ারার (IMS default, non-GBR)। **ভয়েস:** QCI 1 dedicated বেয়ারার (GBR) — ডিলে ≤ 100 ms, loss ≤ 10^{-2}।
- **কোডেক:** AMR-NB (4.75–12.2 kbps, 8 kHz), **AMR-WB** (6.6–23.85 kbps, 16 kHz — HD Voice), **EVS** (5.9–128 kbps, super-wideband; 3GPP R12)।
- **ROHC:** RTP/UDP/IP হেডার (40 বাইট IPv4) সংকুচিত করে ≈ 2–4 বাইট — ভয়েস পেলোড ছোট বলে খুব জরুরি।
- **SPS/DRX:** Semi-persistent scheduling ও C-DRX — কন্ট্রোল ওভারহেড ও ব্যাটারি কমায়। **TTI bundling** কভারেজ বাড়ায়।

উদাহরণ: VoLTE ব্যান্ডউইথ

AMR-WB 12.65 kbps; প্রতি 20 ms-এ একটি ফ্রেম ⇒ পেলোড = $12.65\times10^{3} \times 0.02 / 8 \approx$ **31.6 বাইট ≈ 32 বাইট**। **ROHC ছাড়া:** (32 + 40) বাইট × 8 / 0.02 s = **28.8 kbps** (হেডারই ৫৫% অপচয়!)। **ROHC সহ** (হেডার ≈ 3 বাইট): (32+3)×8/0.02 = **14.0 kbps**। এজন্যই VoLTE স্পেকট্রাল-এফিশিয়েন্ট।

১১.৬ ইমার্জেন্সি, SRVCC ও ইন্টারওয়ার্কিং

- **ইমার্জেন্সি কল (999):** সিম/রেজিস্ট্রেশন ছাড়াও সম্ভব; P-CSCF নম্বর চিনে E-CSCF/PSAP-এ পাঠায়; লোকেশন তথ্য সহ।
- **SRVCC:** VoLTE কল চলার সময় LTE ছাড়লে eNB → MME → MSC Server Enhanced → CS হ্যান্ডওভার; IMS-এ অ্যাংকর (SCC AS) থাকে, কল ড্রপ হয় না।
- **VoWiFi:** একই IMS, Wi-Fi-এর উপর (ePDG-এর মাধ্যমে); **ViLTE, VoNR, RCS**ও IMS-এ চলে।

অনুশীলনী (MCQ)

1. IMS-এ UE-র প্রথম SIP যোগাযোগ বিন্দু?

(ক) I-CSCF
(খ) S-CSCF
(গ) P-CSCF
(ঘ) HSS

উত্তর: (গ) — P-CSCF (Gm ইন্টারফেস)।

2. কোন নোড HSS থেকে সাবস্ক্রাইবার প্রোফাইল ডাউনলোড করে সার্ভিস ট্রিগার করে?

(ক) P-CSCF
(খ) S-CSCF
(গ) MGCF
(ঘ) BGCF

উত্তর: (খ) — S-CSCF (SAR/SAA, iFC)।

3. IMS ও PSTN ইন্টারওয়ার্কিং-এর জন্য নিয়ন্ত্রণ নোড?

(ক) MGCF
(খ) I-CSCF
(গ) SGW
(ঘ) HSS

উত্তর: (ক) — MGCF + MGW।

4. VoLTE ভয়েসের জন্য কোন QCI?

(ক) 1
(খ) 5
(গ) 7
(ঘ) 9

উত্তর: (ক) — QCI 1 GBR; সিগন্যালিং QCI 5।

5. SIP-তে 180 কী?

(ক) Trying
(খ) Ringing
(গ) OK
(ঘ) Busy

উত্তর: (খ) — 180 Ringing; 486 Busy Here।

6. IMS রেজিস্ট্রেশনের প্রথম REGISTER-এর জবাবে কী আসে?

(ক) 200 OK
(খ) 401 Unauthorized
(গ) 404
(ঘ) 603

উত্তর: (খ) — IMS-AKA চ্যালেঞ্জ (RAND, AUTN)।

7. P-CSCF কোন নোডের সাথে Rx ইন্টারফেসে যুক্ত?

(ক) PCRF/PCF
(খ) HSS
(গ) MME
(ঘ) AS

উত্তর: (ক) — QoS/বেয়ারার অনুরোধ।

8. AMR-WB 12.65 kbps, 20 ms ফ্রেম → পেলোড কত বাইট?

(ক) ≈ 16
(খ) ≈ 32
(গ) ≈ 64
(ঘ) ≈ 128

উত্তর: (খ) — 12650×0.02/8 = 31.6।

9. SIP মেথড যা সেশন শেষ করে?

(ক) BYE
(খ) ACK
(গ) INVITE
(ঘ) PRACK

উত্তর: (ক) — BYE।

10. SRVCC-এর উদ্দেশ্য?

(ক) VoLTE কল LTE ছাড়লেও CS-এ কল অবিচ্ছিন্ন রাখা (খ) ডেটা স্পিড বাড়ানো

(গ) IP বরাদ্দ (ঘ) নম্বর পোর্টেবিলিটি

উত্তর: (ক) — Single Radio Voice Call Continuity।

11. কোনটি IMPU-র উদাহরণ?

(ক) sip:+8801xxxxxxxxx@domain (খ) IMSI

(গ) IMEI (ঘ) TEID

উত্তর: (ক) — IMPU = পাবলিক আইডি (SIP URI/tel URI)।

অধ্যায় ১২ — মোবাইল ইউজার ডেটা ম্যানেজমেন্ট ও অথেন্টিকেশন

HLR, HSS, UDM and Registry Systems · Authentication

১২.১ সাবস্ক্রাইবার ডেটাবেস: HLR → HSS → UDM

মোবাইল নেটওয়ার্ক জানতে চায়: **তুমি কে? তোমার সিম সত্যি কি? কী কী সার্ভিস পাবে? এখন কোথায় আছ?** এই তথ্যের কেন্দ্রীয় স্থায়ী ডেটাবেস প্রতিটি প্রজন্মে আলাদা নামে:

প্রজন্ম	নাম	প্রোটোকল	গ্রাহক/সার্ভিস
2G/3G CS	**HLR** (+ **AuC**)	MAP (SS7)	ভয়েস, SMS
4G	**HSS**	Diameter (S6a, Cx)	LTE + IMS (VoLTE)
5G	**UDM** + **UDR** + **AUSF** (+ ARPF)	HTTP/2 (Nudm, Nausf)	5G, স্লাইস, 4G/IMS

> **HLR/HSS-এ কী থাকে?**
> IMSI, MSISDN, সাবস্ক্রিপশন প্রোফাইল (APN, QoS, ডেটা প্ল্যান, রোমিং অনুমতি, ভয়েস/SMS/VoLTE সুবিধা), **বর্তমান সার্ভিং নোড (VLR/MME/AMF ঠিকানা)**, অথেন্টিকেশন কী (K/OPc, AuC-এ), IMS ডেটা (IMPU/IMPI/iFC), সীমাবদ্ধতা (ব্যারিং)। **VLR** = ভিজিটর অঞ্চলের অস্থায়ী কপি।

কেন কেন্দ্রীভূত? একটি জায়গায় থাকলে প্রোভিশনিং সহজ; কিন্তু এটিই সবচেয়ে সংবেদনশীল নোড — তাই জিও-রিডান্ডেন্ট (একাধিক সাইটে), ডেটা এনক্রিপ্টেড ও FE (Front End)/BE (Back End/UDR) আলাদা আর্কিটেকচার (Layered/Cloud-native)।

১২.২ আইডেন্টিফায়ার

আইডি	গঠন	মন্তব্য
IMSI	**MCC** (৩) + **MNC** (২/৩) + **MSIN**; সর্বোচ্চ ১৫ ডিজিট	বাংলাদেশ MCC = **470**; MNC: GP 01, Robi 02, Banglalink 03, Teletalk 04
MSISDN	CC + NDC + SN; সর্বোচ্চ ১৫ ডিজিট	+880 1X XXXXXXXX (বাংলাদেশ CC = 880)
IMEI	১৫ ডিজিট = TAC (৮) + SNR (৬) + Check digit (১, Luhn)	*#06# দিয়ে দেখা যায়; চুরি ডিভাইস EIR-এ ব্লক
TMSI / P-TMSI / GUTI	অস্থায়ী; নেটওয়ার্ক বরাদ্দ করে	IMSI এয়ারে বারবার না পাঠিয়ে প্রাইভেসি রক্ষা
MSRN	রোমিং নম্বর (কল রাউটিং-এর জন্য, VLR দেয়)	মেয়াদ অস্থায়ী
SUPI / SUCI	5G: IMSI-ধরনের স্থায়ী আইডি / এনক্রিপ্টেড রূপ (ECIES)	IMSI ক্যাচার আক্রমণ ঠেকায়
PLMN ID	MCC + MNC	নেটওয়ার্ক শনাক্তকারী (যেমন 470-04)
TAI / TAC, Cell ID (ECI/NCI)	PLMN + TAC; PLMN + eNB/gNB ID + cell	লোকেশন/পেজিং

উদাহরণ: IMEI Luhn চেক ডিজিট

IMEI-র প্রথম ১৪ ডিজিট: `49015420323751`। ডানদিক থেকে বাঁয়ে প্রথম ডিজিট ×2, পরেরটি ×1, এভাবে একটি-অন্তর-একটি ×2; ২ অঙ্কের গুণফল হলে অঙ্ক দুটি যোগ (বা −9)। সব যোগ করে মোট S; **চেক ডিজিট = (10 − S mod 10) mod 10**। এখানে ফল = **8** ⇒ IMEI = 490154203237518 ✔ (এটি একটি পরিচিত বৈধ উদাহরণ)।

১২.৩ অথেন্টিকেশন — কেন ও কীভাবে?

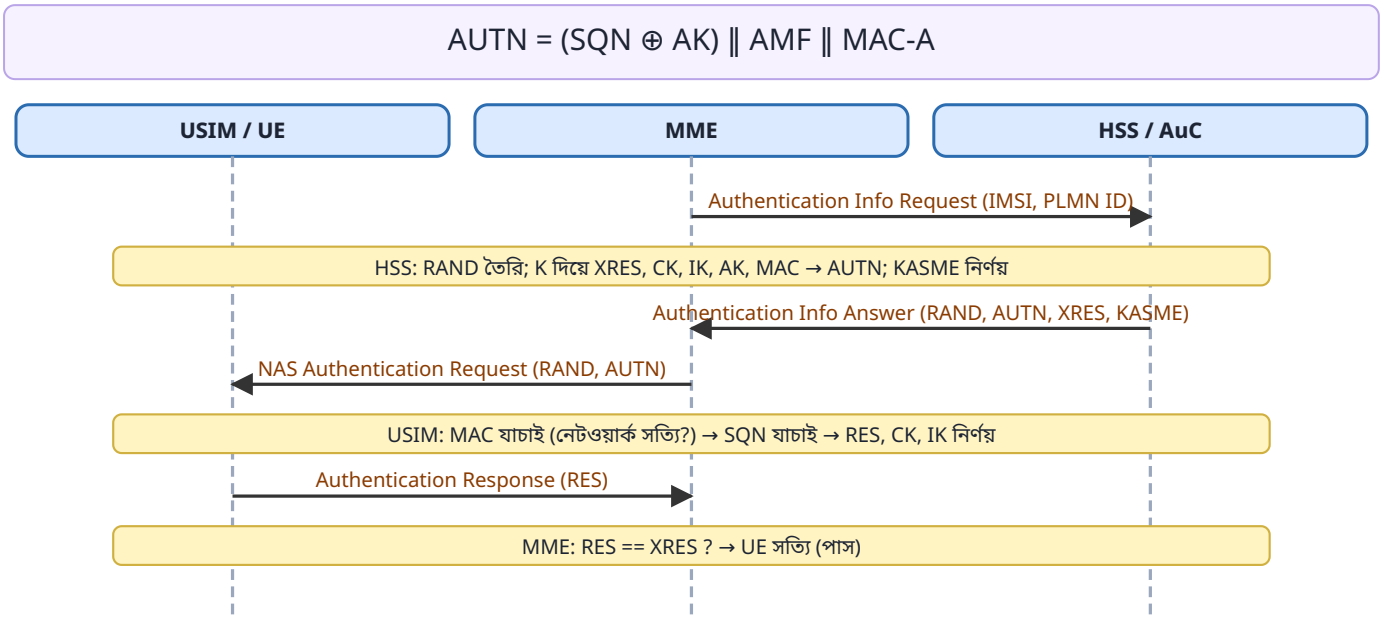
উদ্দেশ্য: (১) নেটওয়ার্ক নিশ্চিত হবে সিমটি বৈধ গ্রাহকের; (২) আধুনিক সিস্টেমে ইউজারও নিশ্চিত হবে নেটওয়ার্কটি আসল (পারস্পরিক); (৩) এয়ার-ইন্টারফেস এনক্রিপশনের কী তৈরি।

2G (GSM) — একমুখী

সিমে **Ki** (১২৮ বিট) আছে। নেটওয়ার্ক **RAND** (১২৮ বিট) পাঠায়। দুই পক্ষ **A3** দিয়ে **SRES** (৩২ বিট) ও **A8** দিয়ে **Kc** (৬৪ বিট, এনক্রিপশন কী) বের করে। HLR/AuC **triplet** (RAND, SRES, Kc) দেয়। দুর্বলতা: শুধু নেটওয়ার্ক ইউজারকে যাচাই করে; নকল বেস স্টেশন (IMSI catcher) সম্ভব।

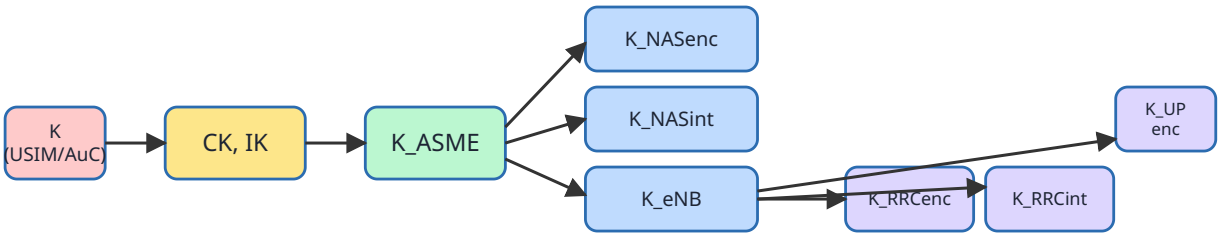
3G/4G — পারস্পরিক (UMTS AKA / EPS-AKA)

সিম ও AuC-এ আছে **K** (১২৮ বিট), (সাধারণত **OPc**) ও **SQN** (সিকোয়েন্স নম্বর — রিপ্লে ঠেকাতে)। AuC **quintet/vector** বানায়: **RAND, XRES, CK, IK, AUTN**।



চিত্র ১২.১: 4G AKA অথেন্টিকেশন

- USIM **MAC** মিলিয়ে নেটওয়ার্ককে যাচাই করে + SQN নতুন কি না দেখে (রিপ্লে প্রতিরোধ)। না মিললে Sync Failure/MAC Failure।
- USIM **RES** পাঠায়; MME **XRES**-এর সাথে তুলনা করে। মিললেই UE প্রমাণিত।
- দুই পক্ষ নিজে নিজে **CK, IK** বের করে → $\mathbf{K_{ASME}}$ → NAS/AS কী (এনক্রিপশন ও ইন্টেগ্রিটি আলাদা)।



4G কী-হায়ারার্কি: K → (CK, IK) → K_ASME → NAS/AS কী। K কখনো USIM/AuC ছাড়ে না।

চিত্র ১২.২: 4G কী হায়ারার্কি

এনক্রিপশন অ্যালগরিদম (LTE): EEA1 (SNOW 3G), EEA2 (AES), EEA3 (ZUC); ইন্টেগ্রিটি EIA1/2/3। 5G-তেও NEA/NIA।

উদাহরণ: কী-স্পেস কত বড়?
K = 128 বিট ⇒ সম্ভাব্য কী = $2^{128} \approx 3.4\times10^{38}$। প্রতি সেকেন্ডে 10^9 কী চেক করলেও ≈ 1.1×10^{22} বছর লাগবে — ব্রুট-ফোর্স অসম্ভব। আসল ঝুঁকি অ্যালগরিদমে নয়, প্রোটোকল ও ইমপ্লিমেন্টেশনে (যেমন SS7 দুর্বলতা)।

5G — 5G-AKA ও EAP-AKA'

- UE **SUPI** সরাসরি পাঠায় না; **SUCI** (হোম নেটওয়ার্কের পাবলিক কী দিয়ে ECIES এনক্রিপ্টেড) পাঠায়; UDM-এর **SIDF** ডিক্রিপ্ট করে।
- নোড: **SEAF** (AMF-এ, সার্ভিং নেটওয়ার্ক অ্যাংকর), **AUSF** (হোম নেটওয়ার্কে সিদ্ধান্ত), **UDM/ARPF** (ভেক্টর তৈরি)। ইন্টারফেস: N12 (AMF–AUSF), N13 (AUSF–UDM)।
- সুবিধা: **হোম নেটওয়ার্ক কন্ট্রোল** — রোমিং-এ ভিজিটর নেটওয়ার্ক একা সিদ্ধান্ত নিতে পারে না; কী হায়ারার্কি: K → CK/IK → K_{AUSF} → K_{SEAF} → K_{AMF} → NAS/gNB কী।

	GSM	UMTS/LTE	5G
অথেন্টিকেশন	ইউজার→নেটওয়ার্ক	পারস্পরিক	পারস্পরিক + হোম কন্ট্রোল
ইউজার আইডি এয়ারে	IMSI/TMSI	IMSI/GUTI	**SUCI** (এনক্রিপ্টেড)
ভেক্টর	Triplet	Quintet	5G HE AV
এনক্রিপশন কী	Kc (64)	CK/IK (128)	128/256 বিট
নোড	HLR/AuC	HSS	UDM/ARPF + AUSF

১২.৪ ইন্টারফেস সারসংক্ষেপ

ইন্টারফেস	সংযোগ	প্রোটোকল	কাজ
MAP (C, D, Gr)	MSC/VLR/SGSN – HLR	MAP/SS7	লোকেশন, অথেন্টিকেশন, SRI
S6a	MME – HSS	Diameter	ULR/AIR — লোকেশন আপডেট, অথেন্টিকেশন ডেটা
Cx	I/S-CSCF – HSS	Diameter	IMS রেজিস্ট্রেশন (UAR/MAR/SAR)
N8	AMF – UDM	HTTP/2	রেজিস্ট্রেশন, সাবস্ক্রিপশন
N10	SMF – UDM	HTTP/2	সেশন সাবস্ক্রিপশন ডেটা
N12	AMF – AUSF	HTTP/2	অথেন্টিকেশন
N13	AUSF – UDM	HTTP/2	ভেক্টর নেওয়া
S13	MME – EIR	Diameter	IMEI চেক

নিরাপত্তা প্রবণতা: SIM-সোয়াপ জালিয়াতি (BTRC/অপারেটর বায়োমেট্রিক ভেরিফিকেশন বাধ্যতামূলক করেছে), IMSI ক্যাচার, SS7/Diameter আক্রমণ (ফায়ারওয়াল/সিগন্যালিং সিকিউরিটি), eSIM।

অনুশীলনী (MCQ)

1. IMSI-র গঠন কী?

(ক) MCC + MNC + MSIN
(খ) CC + NDC + SN
(গ) TAC + SNR + CD
(ঘ) PLMN + TAC

উত্তর: (ক) — সর্বোচ্চ ১৫ ডিজিট।

2. বাংলাদেশের MCC কত?

(ক) 404
(খ) 470
(গ) 460
(ঘ) 410

উত্তর: (খ) — 470; ভারত 404/405, চীন 460, পাকিস্তান 410।

3. 4G-তে MME ও HSS-এর মধ্যকার ইন্টারফেস?

(ক) S6a
(খ) S11
(গ) Cx
(ঘ) Gx

উত্তর: (ক) — S6a — Diameter।

4. AKA-তে নেটওয়ার্ক যাচাই করতে USIM কী ব্যবহার করে?

(ক) XRES
(খ) MAC (AUTN-এর অংশ)
(গ) TMSI
(ঘ) Kc

উত্তর: (খ) — AUTN-এর MAC।

5. কোনটি রিপ্লে আক্রমণ ঠেকায়?

(ক) SQN
(খ) TMSI
(গ) APN
(ঘ) TEID

উত্তর: (ক) — Sequence Number।

6. MME কীসের সাথে তুলনা করে UE-র RES সঠিক কি না দেখে?

(ক) RAND (খ) XRES
(গ) AUTN (ঘ) KASME

উত্তর: (খ) — RES == XRES।

7. 5G-তে UE কোন আইডি এয়ারে পাঠায় (SUPI-র বদলে)?

(ক) SUCI (খ) MSISDN
(গ) IMEI (ঘ) MSRN

উত্তর: (ক) — Subscription Concealed Identifier।

8. 5G-তে AMF–AUSF ইন্টারফেস?

(ক) N8 (খ) N10
(গ) N12 (ঘ) N13

উত্তর: (গ) — N12; AUSF–UDM = N13।

9. IMEI-তে মোট ডিজিট ও শেষ ডিজিট কী?

(ক) ১৫, Luhn চেক ডিজিট (খ) ১৪, সিরিয়াল
(গ) ১৬, TAC (ঘ) ১০, MNC

উত্তর: (ক) — TAC(8)+SNR(6)+CD(1)।

10. GSM-এ Ki-এর আকার?

(ক) 64 বিট (খ) 128 বিট
(গ) 256 বিট (ঘ) 32 বিট

উত্তর: (খ) — 128 বিট; Kc = 64 বিট; SRES = 32 বিট।

11. HLR-এ কোন অস্থায়ী নম্বর রোমিং কল রাউট করতে ব্যবহার হয়?

(ক) MSRN (খ) IMEI
(গ) ICCID (ঘ) TAC

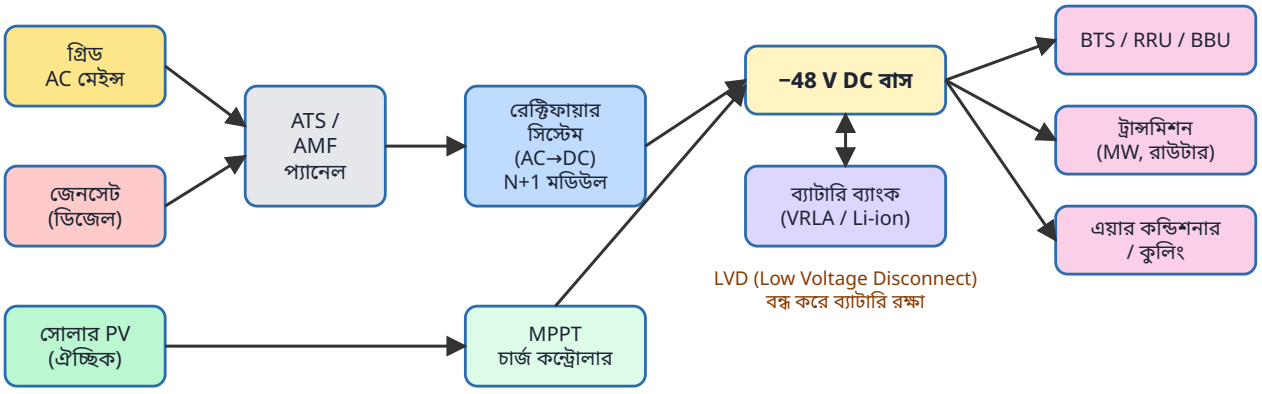
উত্তর: (ক) — VLR → HLR → GMSC।

অধ্যায় ১৩ — টেলিকমের পাওয়ার সিস্টেম

Power System for Telecom

১৩.১ কেন টেলিকমে −48 V DC?

টেলিকম সাইটে বিদ্যুৎ গেলে নেটওয়ার্ক বন্ধ — অর্থাৎ রাজস্ব ও সেবার ক্ষতি। তাই বিদ্যুৎ ব্যবস্থা হয় **DC-ভিত্তিক, ব্যাটারি-সমর্থিত**। ঐতিহাসিক কারণ: পুরোনো এক্সচেঞ্জের রিলে/ইলেকট্রনিক্স −48 V চালিত; ব্যাটারি সরাসরি বাসে যুক্ত থাকলে **কোনো সুইচওভার ডিলে ছাড়াই** (zero-break) সাপ্লাই চলে। নেগেটিভ পোলারিটি কারণ: পজিটিভ গ্রাউন্ড করলে মরিচা/ক্ষয় (গ্যালভানিক) কমে।



পাওয়ার অগ্রাধিকার: গ্রিড → (ব্যাটারি তৎক্ষণাৎ) → জেনসেট/সোলার

চিত্র ১৩.১: টেলিকম সাইট পাওয়ার সিস্টেম

১৩.২ প্রধান উপাদান

- **AC ইনপুট ও ATS/AMF:** গ্রিড চলে গেলে Automatic Transfer Switch/ Auto Mains Failure প্যানেল জেনসেট স্টার্ট দেয় ও লোড স্থানান্তর করে। বাংলাদেশে ৩-ফেজ 400 V (ফেজ-টু-নিউট্রাল 230 V), 50 Hz।
- **রেক্টিফায়ার (SMPS):** AC → −48 V DC (ফ্লোট ≈ 53.5–54.5 V)। মডুলার (হট-সোয়াপ), দক্ষতা ≈ 95–98%। **N+1** রিডান্ডেন্সি। সাধারণত ব্যাটারি চার্জ কারেন্টও সরবরাহ করে।
- **ব্যাটারি ব্যাংক:** ২৪টি 2 V সেল সিরিজে = 48 V নামমাত্র। ধরন: **VRLA** (AGM/Gel, রক্ষণাবেক্ষণ-মুক্ত, সস্তা, আয়ু ৩–৫ বছর, তাপমাত্রা-সংবেদী), **লিথিয়াম-আয়ন (LiFePO₄)** (হালকা, দীর্ঘ আয়ু ৮–১২ বছর, বেশি DoD, ব্যয়বহুল)। আর্দ্র ক্ষয় বা গরমে VRLA-র আয়ু দ্রুত কমে (প্রতি 10°C বৃদ্ধিতে ≈ অর্ধেক)।
- **ডিজেল জেনসেট:** দীর্ঘ লোডশেডিং-এ; প্রতি kWh-এ ≈ 0.25–0.3 L ডিজেল।
- **সোলার/হাইব্রিড:** PV অ্যারে + MPPT কন্ট্রোলার; ডিজেল সাশ্রয় ও কার্বন কমানো; অফ-গ্রিড সাইটে অপরিহার্য।
- **LVD (Low Voltage Disconnect):** ব্যাটারি ডিপ ডিসচার্জ ঠেকাতে লোড বিচ্ছিন্ন (≈ 43.2 V বা ≈ 1.8 V/সেল); Non-priority লোড আগে কাটে।
- **UPS / ইনভার্টার:** AC-লোডের জন্য (কোর/ডেটাসেন্টার, কম্পিউটার)। **অনলাইন ডাবল-কনভার্সন** UPS টেলিকম/সার্ভারের জন্য উপযোগী।
- **আর্থিং ও সার্জ সুরক্ষা:** টাওয়ারে লাইটনিং রড; **SPD** (Surge Protection Device) AC ও DC লাইনে; আর্থ রেজিস্ট্যান্স যত কম তত ভালো (সাধারণত ≤ 5 Ω, অপারেটর স্ট্যান্ডার্ড অনুযায়ী 1–5 Ω); **সমতল ভূমি জুড়ে একক গ্রাউন্ডিং বাস** (equipotential)।

- **কুলিং:** শেল্টারে AC বা ফ্রি-এয়ার কুলিং; আউটডোর ক্যাবিনেটে হিট-এক্সচেঞ্জার; মোট বিদ্যুতের বড় অংশ কুলিং-এ।

ব্যাটারি	VRLA (Lead-acid)	LiFePO₄
সেল ভোল্ট	2 V (ফ্লোট ≈ 2.25 V/সেল)	3.2 V (১৫ সেল ≈ 48 V)
উপযোগী DoD	≈ 50–80%	≈ 80–100%
আয়ু (সাইকেল)	≈ 300–1000	≈ 3000–6000
ওজন/স্থান	ভারী	≈ ১/৩ ওজন
খরচ	কম (প্রাথমিক)	বেশি (কিন্তু মোট মালিকানা খরচ কম হতে পারে)
তাপমাত্রা সংবেদনশীলতা	বেশি	কম

১৩.৩ গণিত: লোড, ব্যাটারি ও রেক্টিফায়ার

$$P = V \times I \quad | \quad I_{DC} = P_{load} / V \quad | \quad E\,(kWh) = P\,(kW) \times t\,(h)$$

উদাহরণ: লোড কারেন্ট

সাইট লোড (BTS + ট্রান্সমিশন + কুলিং-এর DC অংশ) = 1.5 kW, −48 V বাস। $I = 1500/48 =$ **31.25 A**।

ব্যাটারি সাইজিং সূত্র

$$C\,(Ah) = I_{load} \times t_{backup} / (DoD \times \eta_{temp}) \times K_{aging}$$

I = লোড কারেন্ট, t = ব্যাকআপ ঘণ্টা, DoD = অনুমোদিত ডিসচার্জের গভীরতা (0.8 = 80%), K_{aging} = বার্ধক্য/ডিজাইন মার্জিন (সাধারণত 1.2–1.25)।

উদাহরণ: ব্যাটারি ব্যাংক — ৪ ঘণ্টা ব্যাকআপ

I = 30 A, t = 4 h, DoD = 80%, aging factor = 1.25।

Ah = (30 × 4) / 0.8 = 150 Ah; × 1.25 = **187.5 Ah** ⇒ বাজারে 200 Ah ব্যাংক বাছুন (24 সেল × 2 V, ৪৮ V)।

ব্যবহারযোগ্য শক্তি ≈ 48 V × 150 Ah = 7.2 kWh (DoD ধরে); লোড শক্তি = 1.44 kW × 4 = 5.76 kWh।

উদাহরণ: রেক্টিফায়ার সাইজিং

লোড = 30 A; ব্যাটারি চার্জ কারেন্ট = 0.1 C_{10} = 0.1 × 200 = 20 A; মোট প্রয়োজন = **50 A**। প্রতি মডিউল 50 A ধরলে ১টি লাগবে; **N+1** রিডান্ডেন্সি ⇒ **2টি মডিউল** (বা 25 A ×(2+1))। ভবিষ্যৎ প্রসারণ (5G রেডিও যুক্ত হলে লোড বাড়ে) ধরে মডিউল-স্লট ফাঁকা রাখা হয়।

উদাহরণ: ব্যাটারি ভোল্টেজ লিমিট

২৪ সেল: ফ্লোট = 24 × 2.25 = **54 V**; বুস্ট = 24 × 2.35 ≈ 56.4 V; ডিসচার্জের শেষ (EOD) = 24 × 1.75 = **42 V**; LVD ≈ 43.2 V (24×1.8)।

উদাহরণ: সোলার অ্যারে সাইজিং

লোড = 1.5 kW সারাদিন ⇒ দৈনিক শক্তি = 1.5 × 24 = 36 kWh। বাংলাদেশে গড় peak sun hours ≈ 4.5 ঘণ্টা; সিস্টেম দক্ষতা (derating) 0.75। PV সাইজ = 36 / (4.5 × 0.75) = **≈ 10.7 kWp**। (বাস্তবে হাইব্রিড — গ্রিড/জেনসেটের সাথে আংশিক সোলার ধরা হয়।)

উদাহরণ: জেনসেট জ্বালানি

লোড 1.5 kW, ৬ ঘণ্টা লোডশেডিং ⇒ শক্তি = 9 kWh। ফুয়েল রেট ≈ 0.28 L/kWh ⇒ ≈ **2.5 L** (বাস্তবে জেনসেটের ন্যূনতম লোড ফ্যাক্টর ও কম লোড দক্ষতা বিবেচনায় বেশি)। ছোট লোডে বড় জেনসেট চালানো অপচয়।

দক্ষতা ও PUE

রেক্টিফায়ার দক্ষতা $\eta = P_{out}/P_{in}$; ১ kW DC লোডে $\eta = 96\%$ হলে AC ইনপুট = 1/0.96 = 1.042 kW। ডেটাসেন্টারের জন্য **PUE** = মোট ফ্যাসিলিটি পাওয়ার / IT পাওয়ার (আদর্শ 1.0; ভালো ≈ 1.2–1.5)। টেলিকম সাইটে কুলিং কমানো এবং **DC সরাসরি ব্যবহার** এনার্জি সাশ্রয়ের মূল উপায়।

১৩.৪ গ্রিন টেলিকম ও আধুনিক প্রবণতা

- সোলার-হাইব্রিড সাইট, Li-ion ব্যাটারি, সার্ভার-লেভেল পাওয়ার সেভিং (ডিপ স্লিপ মোড, ট্রাফিক-ভিত্তিক বন্ধ), ফ্রি কুলিং।
- **দূরনিয়ন্ত্রিত মনিটরিং (SNMP/ডিজিটাল FSU)**: ব্যাটারি ভোল্টেজ, তাপমাত্রা, জেনসেট রান আওয়ার, ফুয়েল লেভেল, দরজা খোলা — NOC থেকে দেখা যায়।
- **টাওয়ার শেয়ারিং (TowerCo)**: একাধিক অপারেটর একই টাওয়ার/পাওয়ার ব্যবহার করে — CAPEX/OPEX কমায়।
- **৫জি ও পাওয়ার:** massive MIMO রেডিওর বিদ্যুৎ ব্যবহার বেশি (কয়েক kW), তাই পাওয়ার আপগ্রেড অনিবার্য।

> **নিরাপত্তা**
>
> DC সিস্টেমের শর্ট-সার্কিট কারেন্ট বিপজ্জনক (শত শত অ্যাম্পিয়ার); ব্যাটারি টার্মিনালে টুল ফেলা নিষেধ; সঠিক ফিউজ/MCB, ইনসুলেটেড টুল ও PPE ব্যবহার করুন। উচ্চতায় (টাওয়ার) কাজে সেফটি হার্নেস।

অনুশীলনী (MCQ)

1. টেলিকমে সাধারণ DC পাওয়ার সিস্টেমের নামমাত্র ভোল্টেজ?

(ক) −12 V (খ) −24 V
(গ) −48 V (ঘ) +110 V

উত্তর: (গ) — −48 V DC।

2. ২৪টি 2 V সেল সিরিজে সংযুক্ত হলে মোট নামমাত্র ভোল্টেজ?

(ক) 24 V (খ) 48 V
(গ) 12 V (ঘ) 96 V

উত্তর: (খ) — 24×2 = 48 V।

3. 1.5 kW লোড, −48 V বাসে কারেন্ট কত?

(ক) 15.6 A (খ) 31.25 A
(গ) 62.5 A (ঘ) 72 A

উত্তর: (খ) — 1500/48 = 31.25 A।

4. 30 A, 4 h, DoD 80% হলে (aging ছাড়া) প্রয়োজনীয় Ah?

(ক) 96 (খ) 120
(গ) 150 (ঘ) 187.5

উত্তর: (গ) — 120/0.8 = 150 Ah।

5. রেক্টিফায়ারে N+1 মানে?

(ক) N টি বেশি
(খ) প্রয়োজনের চেয়ে ১টি অতিরিক্ত মডিউল
(গ) N বছরের ওয়ারেন্টি
(ঘ) একটি ব্যাটারি

উত্তর: (খ) — একটি ফেইল করলেও সাপ্লাই চলবে।

6. LVD-র কাজ?

(ক) ব্যাটারি ওভারচার্জ ঠেকানো
(খ) ব্যাটারি ডিপ ডিসচার্জ ঠেকাতে লোড কাটা
(গ) ভোল্টেজ বাড়ানো
(ঘ) জেনসেট চালু

উত্তর: (খ) — Low Voltage Disconnect।

7. কোন ব্যাটারি টেলিকমে কম রক্ষণাবেক্ষণ লাগে ও দীর্ঘ আয়ু?

(ক) Flooded lead-acid
(খ) $LiFePO_4$
(গ) Ni-Cd (পুরোনো)
(ঘ) কোনটিই নয়

উত্তর: (খ) — Li-ion ($LiFePO_4$) আয়ু বেশি, DoD বেশি।

8. VRLA-র সাধারণ ফ্লোট ভোল্টেজ প্রতি সেলে?

(ক) 1.75 V
(খ) 2.00 V
(গ) 2.25 V
(ঘ) 3.2 V

উত্তর: (গ) — ২৪ সেল ⇒ ≈ 54 V।

9. কোনটি সবচেয়ে বেশি উপযুক্ত ‘zero-break’ সাপ্লাই?

(ক) জেনসেটের সরাসরি
(খ) ব্যাটারি সংযুক্ত DC বাস
(গ) শুধু গ্রিড
(ঘ) শুধু সোলার

উত্তর: (খ) — ব্যাটারি বাসে সবসময় যুক্ত।

10. সোলার সাইজিংয়ে 36 kWh/day, PSH 4.5, derating 0.75 হলে PV প্রায়?

(ক) 8 kWp
(খ) 10.7 kWp
(গ) 16 kWp
(ঘ) 24 kWp

উত্তর: (খ) — 36/(4.5×0.75)।

11. SPD কী?

(ক) Surge Protection Device
(খ) Solar Power Device
(গ) Signal Processing Device
(ঘ) Site Power Distribution

উত্তর: (ক) — বজ্র/সার্জ থেকে সুরক্ষা।

অধ্যায় ১৪ — সিমুলেশন, মডেলিং ও কনফিগারেশনের জন্য স্ক্রিপ্টিং

Scripting for Simulation, Modeling and Configuration of Cellular Systems

১৪.১ কেন স্ক্রিপ্টিং?

টেলিকম ইঞ্জিনিয়ারের তিনটি কাজে স্ক্রিপ্ট লাগে: **(১) সিমুলেশন/মডেলিং** (পাথ লস, SINR, ক্যাপাসিটি, ট্রাফিক); **(২) কনফিগারেশন অটোমেশন** (হাজার হাজার রাউটার/বেস স্টেশনে একই সেটিং; ভুল কমে); **(৩) ডেটা বিশ্লেষণ** (KPI, লগ, CDR)। জনপ্রিয় ভাষা: **Python** (সবচেয়ে বেশি), **MATLAB** (সিমুলেশন), **Bash** (লিনাক্স/অটোমেশন), SQL (ডেটা), YAML/JSON (কনফিগ ফরম্যাট)।

কাজ	টুল/লাইব্রেরি
সংখ্যাগত গণনা, প্লট	NumPy, SciPy, Matplotlib, pandas
লিংক/সিস্টেম লেভেল সিমুলেশন	MATLAB (5G/LTE Toolbox), Python **Sionna**, **ns-3**, **OMNeT++**, Vienna Simulator
ওপেন-সোর্স 4G/5G টেস্টবেড	**Open5GS**, **free5GC** (কোর); **srsRAN**, **OpenAirInterface** (RAN); **UERANSIM** (UE/gNB সিমুলেটর)
নেটওয়ার্ক ডিভাইস অটোমেশন	**Netmiko/Paramiko** (SSH), **NETCONF/YANG** (ncclient), **RESTCONF**, **Ansible**, SNMP
কন্টেইনার/ক্লাউড	Docker, Kubernetes (kubectl, Helm)
প্যাকেট বিশ্লেষণ	Wireshark/tshark, scapy

১৪.২ উদাহরণ ১: Python — Erlang B, FSPL, Shannon

```
import math

def erlang_b(E, m):
    """Blocking probability, recursive form."""
    b = 1.0
    for k in range(1, m + 1):
        b = E * b / (k + E * b)
    return b

def channels_needed(E, gos):
    m = 1
    while erlang_b(E, m) > gos:
        m += 1
    return m

def fspl_db(d_km, f_mhz):
    return 32.44 + 20 * math.log10(d_km) + 20 * math.log10(f_mhz)

def shannon_mbps(bw_mhz, snr_db):
    return bw_mhz * math.log2(1 + 10 ** (snr_db / 10))

print("Erlang B  E=10, m=15 :", round(erlang_b(10, 15), 4))
print("Channels for E=20, 2%:", channels_needed(20, 0.02))
print("FSPL 2km, 1800MHz    :", round(fspl_db(2, 1800), 2), "dB")
print("Shannon 20MHz, 15dB  :", round(shannon_mbps(20, 15), 1), "Mbps")
```

আউটপুট (এই কোড চালিয়ে পাওয়া)

```
Erlang B  E=10, m=15 : 0.0365
Channels for E=20, 2%: 28
FSPL 2km, 1800MHz    : 103.57 dB
Shannon 20MHz, 15dB  : 100.6 Mbps
```

ব্যাখ্যা: `erlang_b` আমাদের অধ্যায় ৩-এর রিকার্শন (B = E·B/(k+E·B)) হুবহু। `channels_needed` লুপ চালিয়ে ন্যূনতম m বের করে যেখানে ব্লকিং ≤ GoS। ফলাফল হাতে-হিসাবের সাথে মেলে: E = 10, m = 15 ⇒ 3.65%; 20 Erlang-এ 2% GoS-এর জন্য 28 চ্যানেল (টেবিলে 30 চ্যানেলে 21.9 E — অর্থাৎ 28 চ্যানেলে ≈ 20 E, সামঞ্জস্যপূর্ণ)।

১৪.৩ উদাহরণ ২: Monte Carlo — SINR সিমুলেশন

৭ সাইটের একটি ক্লাস্টারে মাঝের সেলের ইউজারদের SINR বের করি: সার্ভিং সেলের সিগন্যাল ÷ (৬ প্রতিবেশীর ইন্টারফারেন্স + নয়েজ)।

```
import numpy as np
rng = np.random.default_rng(1)          # fixed seed -> reproducible result
f_mhz, tx_dbm = 1800, 43                # BS transmit power 43 dBm (20 W)

# 7 sites, ISD = 1 km: serving site at the origin + 6 neighbours
isd = 1.0
sites = np.array([(0, 0)] + [(isd*np.cos(np.radians(60*k)),
                              isd*np.sin(np.radians(60*k))) for k in range(6)])

def pl_db(d_km):                        # 3GPP-style urban macro, ~2 GHz
    return 128.1 + 37.6*np.log10(np.maximum(d_km, 0.035))

N = 20000
pts = rng.uniform(-0.5, 0.5, (N, 2))    # users scattered around the centre cell
d = np.linalg.norm(pts[:, None, :] - sites[None, :, :], axis=2)
rx_mw = 10 ** ((tx_dbm - pl_db(d)) / 10)
sinr = rx_mw[:, 0] / (rx_mw[:, 1:].sum(axis=1) + 10 ** (-100/10))   # noise = -100 dBm
sinr_db = 10*np.log10(sinr)
print("median SINR : %.1f dB" % np.median(sinr_db))
print("5th %%-ile   : %.1f dB" % np.percentile(sinr_db, 5))
print("SINR < 0 dB : %.1f %%" % (100*(sinr_db < 0).mean()))
```

আউটপুট (seed = 1)

```
median SINR : 4.6 dB
5th %-ile   : -5.8 dB
SINR < 0 dB : 25.3 %
```

বুঝুন: ফ্রিকোয়েন্সি রিইউজ-1 (সব সেল একই ফ্রিকোয়েন্সি) অবস্থায় মধ্য-সেলেও মধ্যমা SINR মাত্র ≈ 4.6 dB; সাধারণ ইউজারের ক্ষেত্রে চারভাগের একভাগের SINR শূন্যের নিচে — তাই LTE/5G-তে ICIC, beamforming, scheduling ও **ফ্র্যাকশনাল ফ্রিকোয়েন্সি রিইউজ** লাগে। এই সিমুলেশনে শ্যাডো ফেডিং ও অ্যান্টেনা প্যাটার্ন বাদ — তাই আসল মান আরও ওঠানামা করবে। (প্যারামিটার বদলে পরীক্ষা করুন: ISD ২ km করলে কী হয়?)

১৪.৪ কনফিগারেশন ও অটোমেশন

(ক) Open5GS — PLMN কনফিগ (YAML)

৫জি কোর ফাংশনগুলো YAML ফাইলে কনফিগার হয়। নিচে টেস্ট PLMN (MCC 001 / MNC 01) ও একটি S-NSSAI-র উদাহরণ (সংগঠন বুঝতে):

```
amf:
  sbi:
    server:
      - address: 127.0.0.5
        port: 7777
  ngap:
    server:
      - address: 127.0.0.5
  guami:
    - plmn_id: { mcc: 001, mnc: 01 }
      amf_id: { region: 2, set: 1 }
  tai:
    - plmn_id: { mcc: 001, mnc: 01 }
      tac: 1
  plmn_support:
    - plmn_id: { mcc: 001, mnc: 01 }
      s_nssai:
        - sst: 1        # eMBB slice
```

ব্যাখ্যা: `sbi` = সার্ভিস-ভিত্তিক ইন্টারফেস (HTTP/2); `ngap` = N2; `guami` = AMF-এর গ্লোবাল আইডি; `tai` / `tac` = ট্র্যাকিং এরিয়া; `plmn_support` = কোন PLMN ও slice সার্ভ করবে। বাস্তব নেটওয়ার্কে PLMN হতো 470/04-এর মতো।

(খ) Python — SSH দিয়ে একাধিক ডিভাইসে কনফিগ (Netmiko, উদাহরণ — চালানো হয়নি)

```
from netmiko import ConnectHandler

devices = ["10.0.0.11", "10.0.0.12", "10.0.0.13"]
cmds = ["interface Gi0/0/1", "description Backhaul-to-Core", "mtu 9000"]

for ip in devices:
    conn = ConnectHandler(device_type="cisco_xr", host=ip,
                          username="netops", password="***")
    print(ip, conn.send_config_set(cmds))
    conn.disconnect()
```

(গ) NETCONF/YANG ও REST — আধুনিক পদ্ধতি

- **YANG** = কনফিগ/স্টেটের ডেটা মডেল ভাষা; **NETCONF** (SSH/830, XML) বা **RESTCONF** (HTTPS, JSON) দিয়ে ডিভাইস কনফিগ — ট্রানজ্যাকশনাল (সব সফল হলে commit, নইলে rollback)।
- ৫জি কোরে NF-গুলোর **REST API (OpenAPI)** আছে; Postman/curl/Python requests দিয়ে সরাসরি ডাকা যায়। O-RAN-এ O1 ইন্টারফেস NETCONF/YANG ব্যবহার করে।
- **Infrastructure as Code:** Ansible playbook / Helm chart / Terraform — "যা চাই তা লিখি, টুল করে নেয়" (idempotent)।

(ঘ) Bash — লগ থেকে KPI

```
# প্রতি ঘণ্টার RRC setup failure গণনা
grep "RRC_SETUP_FAIL" /var/log/enb.log | awk '{print substr($1,1,13)}' | sort | uniq -c
```

(ঙ) MATLAB — Okumura-Hata পাথ লস

```
f=900; hb=50; hm=1.5; d=5;                % MHz, m, m, km
a  = (1.1*log10(f)-0.7)*hm - (1.56*log10(f)-0.8);
PL = 69.55 + 26.16*log10(f) - 13.82*log10(hb) - a ...
     + (44.9 - 6.55*log10(hb))*log10(d);
fprintf('Path loss = %.1f dB\n', PL)          % -> 146.9 dB
```

স্ক্রিপ্টিং-এর ভালো অভ্যাস

- ভার্সন কন্ট্রোল (Git), প্যারামিটার আলাদা ফাইলে, ড্রাই-রান/ডিফ আগে, রোলব্যাক পরিকল্পনা, ক্রেডেনশিয়াল কোডে না রাখা (vault/env), লগিং, **seed স্থির** রেখে সিমুলেশন পুনরুৎপাদনযোগ্য করা, একসাথে সব ডিভাইসে না চালিয়ে ধাপে ধাপে (canary) রোলআউট।

অনুশীলনী (MCQ)

1. Python-এ Erlang B রিকার্শনে B(E,0) = ?

(ক) 0 (খ) 1
(গ) E (ঘ) ∞

উত্তর: (খ) — B(E,0)=1; তারপর B(E,m) = E·B/(m+E·B)।

2. সিমুলেশন পুনরুৎপাদনযোগ্য করতে কী করা উচিত?

(ক) র‍্যান্ডম seed স্থির রাখা (খ) প্রতিবার ভিন্ন seed
(গ) সিমুলেশন কম চালানো (ঘ) শুধু হাতে হিসাব

উত্তর: (ক) — যেমন default_rng(1)।

3. NETCONF সাধারণত কোন ডেটা মডেল ভাষা ব্যবহার করে?

(ক) JSON Schema (খ) YANG
(গ) SQL (ঘ) HTML

উত্তর: (খ) — YANG।

4. Open5GS-এ sst: 1 কী বোঝায়?

(ক) URLLC (খ) eMBB
(গ) V2X (ঘ) MIoT

উত্তর: (খ) — SST 1 = eMBB।

5. কোনটি ওপেন-সোর্স 5G কোর?

(ক) Open5GS (খ) srsUE
(গ) Wireshark (ঘ) Sionna

উত্তর: (ক) — Open5GS / free5GC।

6. UERANSIM কী?

(ক) 5G UE ও gNB সিমুলেটর (খ) ফায়ারওয়াল
(গ) ডেটাবেস (ঘ) রাউটার OS

উত্তর: (ক) — কোর টেস্টের জন্য।

7. Idempotent স্ক্রিপ্ট মানে?

(ক) একবারই চলে
(খ) বারবার চালালেও একই চূড়ান্ত অবস্থা
(গ) ধীর
(ঘ) এনক্রিপ্টেড

উত্তর: (খ) — Ansible এর বৈশিষ্ট্য।

8. Monte Carlo সিমুলেশনে বেশি নমুনা নিলে কী হয়?

(ক) ফলাফল আরও স্থিতিশীল
(খ) ফলাফল এলোমেলো
(গ) কোনো পরিবর্তন নেই
(ঘ) কম নির্ভুল

উত্তর: (ক) — Law of large numbers।

9. SINR এর সঠিক সংজ্ঞা?

(ক) S/(I+N)
(খ) S/N
(গ) I/S
(ঘ) (S+I)/N

উত্তর: (ক) — Signal / (Interference + Noise)।

10. কোড/কনফিগারে ক্রেডেনশিয়াল কীভাবে রাখা ভালো?

(ক) সরাসরি স্ক্রিপ্টে
(খ) vault/env variable-এ
(গ) কমেন্টে
(ঘ) ইমেইলে

উত্তর: (খ) — হার্ডকোড করা উচিত নয়।

অধ্যায় ১৫ — বাংলাদেশের টেলিকম ইন্ডাস্ট্রি

Basic Knowledge about Telecom Industry of Bangladesh

সতর্কতা: তথ্য হালনাগাদ

এই অধ্যায়ের সংখ্যা ও ঘটনা বদলাতে পারে (গ্রাহক সংখ্যা, 5G কভারেজ ইত্যাদি)। পরীক্ষার আগে BTRC-র ওয়েবসাইট (btrc.gov.bd), AMTOB ও Teletalk-এর ওয়েবসাইট (teletalk.com.bd) থেকে সর্বশেষ সংখ্যা দেখে নিন। নিচের তথ্যের মূল উৎস: Wikipedia (Telecommunications in Bangladesh; Teletalk) ও The Daily Star (১ সেপ্টেম্বর ২০২৫)।

১৫.১ ইন্ডাস্ট্রির কাঠামো

স্তর	কারা	মন্তব্য
নীতি	ডাক ও টেলিযোগাযোগ বিভাগ (ICT/ডাক-টেলিযোগাযোগ মন্ত্রণালয়ের অধীন)	টেলিটক এই বিভাগের আওতাধীন (সার্কুলারেও তাই লেখা: ‘ডাক ও টেলিযোগাযোগ বিভাগের আওতাধীন দেশের একমাত্র রাষ্ট্রীয় মালিকানাধীন মোবাইল নেটওয়ার্ক অপারেটর’)
নিয়ন্ত্রক	**BTRC** — Bangladesh Telecommunication Regulatory Commission	**বাংলাদেশ টেলিযোগাযোগ আইন ২০০১**-এর অধীনে গঠিত (কার্যক্রম ২০০২ থেকে); লাইসেন্স, স্পেকট্রাম, ট্যারিফ, QoS, ইন্টারকানেক্ট, নম্বরিং তদারক
মোবাইল অপারেটর (MNO)	Grameenphone, Robi, Banglalink, Teletalk	MCC 470; MNC: GP 01 · Robi 02 · Banglalink 03 · Teletalk 04
আন্তর্জাতিক	BSCCL (সাবমেরিন ক্যাবল), IGW, IIG, ICX	গেটওয়ে/ইন্টারকানেক্ট লাইসেন্স
ট্রান্সমিশন/ ফাইবার	NTTN অপারেটর (যেমন Fiber@Home, Summit Communications), BTCL, রেলওয়ে, পাওয়ার গ্রিড ইত্যাদি	ফাইবার ব্যাকবোন; ISP-দের ‘ব্যান্ডউইথ’ সরবরাহ
টাওয়ার	টাওয়ার কোম্পানি (TowerCo) — যেমন edotco, Summit Towers ইত্যাদি	নিষ্ক্রিয় অবকাঠামো শেয়ারিং
ISP / ব্রডব্যান্ড	শত শত ISP (বাড়ি/অফিস ইন্টারনেট)	Nationwide, Divisional, Zonal ক্যাটাগরি

১৫.২ মোবাইল অপারেটর পরিচিতি

অপারেটর	সংক্ষিপ্ত পরিচয়	MNC / নম্বর প্রিফিক্স
Grameenphone (GP)	১৯৯৭-এ যাত্রা; বৃহত্তম অপারেটর; মূল অংশীদার Telenor (নরওয়ে) ও Grameen Telecom	01 / 017, 013
Robi Axiata	পূর্বনাম Aktel; Axiata (মালয়েশিয়া) মালিক; ২০১৬-তে Airtel Bangladesh-এর সাথে একীভূত	02 / 018, (016 — পূর্বের Airtel)
Banglalink	Orascom/VEON গ্রুপের অংশ; ২০০৫-এ Sheba Telecom অধিগ্রহণের পর পরিচিত	03 / 019, 014
Teletalk	**রাষ্ট্রীয় মালিকানাধীন**; ২০০৪ সালের ২৬ ডিসেম্বর বাণিজ্যিক যাত্রা (Wikipedia অনুযায়ী); ২০১২-তে প্রথম 3G; ২০১৮-র ১৬ ডিসেম্বর 4G (LTE) উদ্বোধন	04 / 015

বড় তিন বেসরকারি অপারেটরের পরে টেলিটকের বাজার অংশ তুলনামূলক ছোট — চ্যালেঞ্জ: ব্র্যান্ড ও নেটওয়ার্ক কোয়ালিটি ধারণা, স্পেকট্রাম ও বিনিয়োগ সীমা। সুযোগ: সরকারি সেবা (পরীক্ষার আবেদন SMS, ডিজিটাল সার্ভিস), গ্রাম/দুর্গম এলাকায় কভারেজ, শিক্ষা/ফ্রি ওয়াইফাই/সরকারি প্রকল্প। Wikipedia অনুযায়ী Teletalk-এর স্পেকট্রাম: 2G GSM 900; 3G 2100; 4G-র জন্য মোট 20 MHz (1800 MHz-এ 10 MHz ও 2100 MHz-এ 10 MHz)।

১৫.৩ প্রযুক্তি ও স্পেকট্রাম ইতিহাস (টাইমলাইন)

সাল	ঘটনা
১৯৯৩	Citycell — প্রথম মোবাইল (AMPS → পরে CDMA); ২০১৬-র দিকে বন্ধ
১৯৯৭	Grameenphone, Aktel (Robi) GSM যাত্রা শুরু
২০০১–০২	টেলিযোগাযোগ আইন ২০০১; BTRC গঠন (কার্যক্রম ২০০২)
২০০৪	Teletalk যাত্রা (২৬ ডিসেম্বর ২০০৪)
২০০৬	SEA-ME-WE 4 সাবমেরিন ক্যাবল (কক্সবাজার)
২০১২	Teletalk 3G চালু (অক্টোবর ২০১২); IGW/ICX/IIG লাইসেন্স রাউন্ড
২০১৩	বেসরকারি অপারেটরদের জন্য 3G স্পেকট্রাম নিলাম
২০১৭	SEA-ME-WE 5 (কুয়াকাটা)
২০১৮	বেসরকারি অপারেটরদের জন্য 4G নিলাম; Bangabandhu-1 স্যাটেলাইট উৎক্ষেপণ (মে ২০১৮); Teletalk 4G (ডিসেম্বর ২০১৮)
২০২২	**5G স্পেকট্রাম নিলাম (৩১ মার্চ ২০২২)** — সব মোবাইল অপারেটরের জন্য, মোট ≈ 190 MHz
২০২৫	**সীমিত 5G চালু — ৩১ আগস্ট ২০২৫:** Robi (ঢাকা, চট্টগ্রাম, সিলেটের নির্দিষ্ট এলাকায়) ও Grameenphone (বিভাগীয় শহরে) প্রথমে; বাণিজ্যিক রোলআউট ক্রমান্বয়ে (The Daily Star)

বর্তমান ব্যবহৃত ব্যান্ড (সাধারণভাবে): 900/1800 MHz (2G/4G), 2100 MHz (3G/4G), 2300 MHz TDD (4G), 2600 MHz (4G), 5G-র জন্য 2600/3500 MHz-এর মতো মিড-ব্যান্ড (নিলামে বিক্রিত ব্যান্ডের বিবরণ BTRC-র নথিতে দেখুন)।

১৫.৪ বাজার ও সংখ্যা

- **মোবাইল সংযোগ:** সেপ্টেম্বর ২০২২-এ ≈ **18.14 কোটি** (Wikipedia, BTRC ডেটা); এর পর প্রায় ১৮–১৯ কোটি পরিসরে। মনে রাখুন: সংযোগ (SIM) সংখ্যা ≠ অনন্য ব্যবহারকারী।
- **ইন্টারনেট:** মোবাইল ইন্টারনেটই প্রধান, ফিক্সড ব্রডব্যান্ড তুলনায় কম।
- **MFS (Mobile Financial Services):** bKash, Nagad, Rocket প্রমুখ — মোবাইল নেটওয়ার্কের উপর USSD/অ্যাপভিত্তিক আর্থিক সেবা; অর্থনীতিতে বড় ভূমিকা।
- **সরকারি উদ্যোগ:** ডিজিটাল বাংলাদেশ (২০০৯ থেকে) → স্মার্ট বাংলাদেশ ভিশন ২০৪১; ন্যাশনাল ব্রডব্যান্ড/ইনফো-সরকার, Union Digital Centre।
- **নীতি:** জাতীয় টেলিযোগাযোগ নীতি (১৯৯৮; পরবর্তী হালনাগাদ), ILDTS নীতি ২০০৭। (পরীক্ষার জন্য: ১৯৯৮ জাতীয় টেলিযোগাযোগ নীতি, ২০০১ আইন, BTRC ২০০২।)

১৫.৫ নিয়ন্ত্রক ধারণা (পরীক্ষায় আসতে পারে)

ধারণা	ব্যাখ্যা
লাইসেন্সিং	মোবাইল অপারেটর, ISP, IGW/IIG/ICX, NTTN, টাওয়ার ইত্যাদি আলাদা ক্যাটাগরি
স্পেকট্রাম নিলাম	সীমিত রেডিও-তরঙ্গ নিলামের মাধ্যমে বরাদ্দ; ফি + প্রতিশ্রুত রোলআউট
MNP	Mobile Number Portability — নম্বর না বদলে অপারেটর বদল (বাংলাদেশে ২০১৮-তে চালু)
SIM রেজিস্ট্রেশন	বায়োমেট্রিক (আঙুলের ছাপ) ভেরিফিকেশন বাধ্যতামূলক (২০১৫–১৬ থেকে); প্রতিটি NID-তে সর্বোচ্চ সিম সংখ্যা সীমিত
QoS মনিটরিং	BTRC কল ড্রপ, থ্রুপুট, কভারেজ পরিমাপ করে; জরিমানা বা সতর্কতা
ইনফ্রাস্ট্রাকচার শেয়ারিং	টাওয়ার, ফাইবার, পাওয়ার শেয়ারিং — খরচ কমায়
ইমার্জেন্সি	999 (জাতীয় জরুরি), 109 (নারী ও শিশু), 16263 (স্বাস্থ্য বাতায়ন)
ডেটা সুরক্ষা/সাইবার	ডিজিটাল/সাইবার নিরাপত্তা আইন ও তার সংস্কার; পুরোনো আইনের নাম/ধারা প্রশ্নে এলে বর্তমান অবস্থা যাচাই করুন

১৫.৬ টেলিটকের সম্ভাব্য প্রাসঙ্গিক বিষয়

- সরকারি চাকরি/পরীক্ষার অনলাইন আবেদনের ফি SMS-এর মাধ্যমে (যেমন এই সার্কুলারে: `TBL <space> User ID` → 16222); পরীক্ষার ফি ২০০ টাকা + টেলিটক সার্ভিস চার্জ ৬ টাকা = ২০৬ টাকা (সার্কুলারের ক্রমিক ১২ ও ১৪(ঙ))।
- ৫জি বাস্তবায়নে চ্যালেঞ্জ: ফাইবার ব্যাকহোল, পাওয়ার, ডিভাইস, ব্যবসায়িক কেস, ইকোসিস্টেম; ন্যাশনাল রোমিং/শেয়ারিং আলোচনা।
- এই চাকরির ভাইভায় প্রশ্ন আসতে পারে: "টেলিটকের শক্তি-দুর্বলতা কী? আপনি কীভাবে নেটওয়ার্ক কোয়ালিটি উন্নত করবেন? Open RAN/৫জি কীভাবে সাহায্য করবে?" — উত্তরে অধ্যায় ৭, ৮, ১৩ ব্যবহার করুন।

> **একটি ভালো উত্তরের কাঠামো**
> (১) সমস্যা চিহ্নিত → (২) কারণ (ডেটা/KPI) → (৩) প্রযুক্তিগত সমাধান (যেমন সেল স্প্লিটিং, ক্যারিয়ার অ্যাগ্রিগেশন, ব্যাকহোল আপগ্রেড, পাওয়ার ব্যাকআপ) → (৪) ফলাফল কীভাবে মাপবেন (CSSR, DCR, থ্রুপুট)।

অনুশীলনী (MCQ)

1. বাংলাদেশের মোবাইল নেটওয়ার্ক কোড (MCC)?

(ক) 470 (খ) 404
(গ) 410 (ঘ) 460

উত্তর: (ক) — MCC = 470।

2. টেলিটকের MNC কত?

(ক) 01 (খ) 02
(গ) 03 (ঘ) 04

উত্তর: (ঘ) — 470-04।

3. GP-র MNC?

(ক) 01 (খ) 02

(গ) 03 (ঘ) 04

উত্তর: (ক) — 01; Robi 02; Banglalink 03।

4. BTRC কোন আইনের অধীনে গঠিত?

(ক) টেলিযোগাযোগ আইন ২০০১ (খ) ICT আইন ২০০৬

(গ) ডিজিটাল নিরাপত্তা আইন ২০১৮ (ঘ) বিদ্যুৎ আইন ২০০৩

উত্তর: (ক) — বাংলাদেশ টেলিযোগাযোগ আইন ২০০১।

5. বাংলাদেশে 5G স্পেকট্রাম নিলাম কবে?

(ক) ২০১৩ (খ) ২০১৮

(গ) ৩১ মার্চ ২০২২ (ঘ) ২০২৫

উত্তর: (গ) — ৩১ মার্চ ২০২২।

6. সীমিত 5G প্রথম চালু করে (আগস্ট ২০২৫)?

(ক) Robi ও Grameenphone (খ) শুধু Teletalk

(গ) Banglalink ও Teletalk (ঘ) কেউ না

উত্তর: (ক) — ৩১ আগস্ট ২০২৫।

7. বাংলাদেশের CC (country code)?

(ক) +88 (খ) +880

(গ) +8801 (ঘ) +91

উত্তর: (খ) — +880।

8. কোন সাবমেরিন ক্যাবল কুয়াকাটায় ল্যান্ড করেছে?

(ক) SEA-ME-WE 4 (খ) SEA-ME-WE 5

(গ) SEA-ME-WE 3 (ঘ) I-ME-WE

উত্তর: (খ) — SMW-5 কুয়াকাটা; SMW-4 কক্সবাজার।

9. Teletalk 4G (LTE) উদ্বোধন কবে?

(ক) ২০১২ (খ) ১৬ ডিসেম্বর ২০১৮

(গ) ২০২২ (ঘ) ২০২৫

উত্তর: (খ) — Wikipedia অনুযায়ী।

10. MNP-এর পূর্ণরূপ?

(ক) Mobile Number Portability (খ) Mobile Network Protocol

(গ) Multi Node Packet (ঘ) Main Network Port

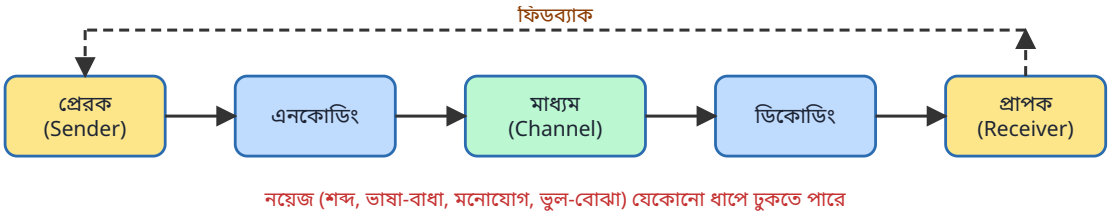
উত্তর: (ক) — নম্বর বদলাতে হয় না।

অধ্যায় ১৬ — কমিউনিকেশন স্কিল

Communication Skill

১৬.১ যোগাযোগ কী?

Communication = তথ্য, ধারণা বা অনুভূতি প্রেরক থেকে প্রাপকের কাছে এমনভাবে পৌঁছানো যাতে প্রাপক ঠিক সেই অর্থই বোঝে। অর্থাৎ শুধু পাঠানো নয়, **বোঝা** হলো লক্ষ্য। একজন টেকনিক্যাল ম্যানেজারের কাজের বড় অংশ যোগাযোগ: টিমকে নির্দেশনা, ভেন্ডরের সাথে আলোচনা, ঊর্ধ্বতনকে রিপোর্ট, গ্রাহক-সমস্যার ব্যাখ্যা।



চিত্র ১৬.১: যোগাযোগ প্রক্রিয়া

যোগাযোগের ধরন

ধরন	উদাহরণ	সুবিধা	অসুবিধা
মৌখিক	মিটিং, ফোন, ভাইভা	দ্রুত, ফিডব্যাক সাথে সাথে	রেকর্ড থাকে না (যদি না লেখা হয়)
লিখিত	ইমেইল, রিপোর্ট, নোটিশ	রেকর্ড/প্রমাণ, স্পষ্টতা	ধীর, টোন বোঝা কঠিন
অমৌখিক	দেহভঙ্গি, চোখের যোগাযোগ, কণ্ঠস্বর	আবেগ প্রকাশ (৫০%+ বার্তা)	ভুল ব্যাখ্যার ঝুঁকি
ভিজ্যুয়াল	চার্ট, ডায়াগ্রাম, স্লাইড	জটিল ধারণা সহজ	ডিজাইনে সময় লাগে

প্রবাহ অনুযায়ী: *Downward* (ঊর্ধ্বতন → অধস্তন), *Upward* (অধস্তন → ঊর্ধ্বতন), *Horizontal/Lateral* (সমপর্যায়), *Diagonal* (বিভাগ-বিভাগ)। **Formal** (সাংগঠনিক চ্যানেল) ও **Informal** (grapevine)।

১৬.২ কার্যকর যোগাযোগের ৭টি C

C	অর্থ	উদাহরণ
Clear	স্পষ্ট	'শীঘ্রই' না বলে 'বৃহস্পতিবার বিকাল ৫টার মধ্যে'
Concise	সংক্ষিপ্ত	অপ্রয়োজনীয় শব্দ বাদ
Concrete	নির্দিষ্ট/তথ্যনির্ভর	'সিগন্যাল খারাপ' না বলে 'RSRP −110 dBm, ৩০% ড্রপ'
Correct	নির্ভুল (তথ্য ও ব্যাকরণ)	সংখ্যা, নাম, তারিখ যাচাই
Coherent	সুসংগত	যুক্তির ধারাবাহিকতা
Complete	সম্পূর্ণ	কে/কী/কখন/কোথায়/কেন/কীভাবে
Courteous	বিনয়ী	'অনুগ্রহ করে', 'ধন্যবাদ'

১৬.৩ যোগাযোগের বাধা

- **ভাষাগত:** জারগন/কঠিন শব্দ (গ্রাহককে 'RRC drop' বললে বোঝে না), অস্পষ্ট ভাষা।
- **শারীরিক/পরিবেশগত:** গোলমাল, দূরত্ব, খারাপ নেটওয়ার্ক।

- **মনস্তাত্ত্বিক:** পক্ষপাত, আবেগ (রাগ), আগ্রহহীনতা, অনুমান।
- **সাংগঠনিক:** অতিরিক্ত স্তর, তথ্য ফিল্টার, বিভাগীয় সাইলো।
- **সাংস্কৃতিক:** সংস্কৃতিভেদে দেহভঙ্গির অর্থ আলাদা।

সমাধান: সহজ ভাষা, ফিডব্যাক চাওয়া, ডিজিটাল টুল (চ্যাট/ইমেইল), সক্রিয় শ্রবণ, ছোট সুনির্দিষ্ট বার্তা।

১৬.৪ সক্রিয় শ্রবণ (Active Listening)

- পুরো মনোযোগ; মাঝে না কাটা; চোখে চোখ; মাথা নেড়ে সাড়া; অর্থ বোঝার জন্য প্রশ্ন; **নিজের ভাষায় সারাংশ** বলে নিশ্চিত হওয়া ('আপনি বলতে চাইছেন...')।

১৬.৫ লিখিত যোগাযোগ

ক) প্রফেশনাল ইমেইলের কাঠামো

> **নমুনা**
> **Subject:** Request for Approval — BTS Battery Replacement (Dhaka-South Cluster)
>
> Dear Sir,
> Greetings. I am writing to seek your approval for replacing the VRLA battery banks at 12 sites in the Dhaka-South cluster. Test results show that 9 sites provide less than 1.5 hours of backup against the 4-hour design requirement.
> Estimated cost: BDT ... ; Planned completion: 30 days from approval. A detailed list is attached.
> Kindly let me know if you need any additional information.
>
> Best regards,
> Name · Designation · Phone

- **নিয়ম:** সুস্পষ্ট বিষয় লাইন; সম্বোধন; প্রথম অনুচ্ছেদে উদ্দেশ্য; তথ্য/সংখ্যা; পরবর্তী পদক্ষেপ/ডেডলাইন; ভদ্র সমাপ্তি; অ্যাটাচমেন্টের উল্লেখ; পাঠানোর আগে প্রুফরিড; Reply-All সতর্কতা।

খ) অফিসিয়াল চিঠি / নোটিশ / আবেদন (বাংলা)

- স্মারক নং ও তারিখ → প্রাপকের পদ ও ঠিকানা → বিষয় → সম্বোধন (মহোদয়/জনাব) → মূল বক্তব্য (পটভূমি → অনুরোধ) → সমাপ্তি (বিনীত/আপনার বিশ্বস্ত) → স্বাক্ষর, নাম, পদবি → অনুলিপি (প্রযোজ্য হলে)। (এই সার্কুলারটাই ভালো উদাহরণ — নম্বর, তারিখ, বিষয় 'নিয়োগ বিজ্ঞপ্তি'।)

গ) টেকনিক্যাল রিপোর্ট লেখা

অংশ	কী থাকবে
শিরোনাম ও সারসংক্ষেপ	১ অনুচ্ছেদে মূল ফলাফল (Executive Summary)
পটভূমি	সমস্যা/উদ্দেশ্য
পদ্ধতি	কী মাপা/পরীক্ষা হয়েছে
ফলাফল	টেবিল, চার্ট, KPI
বিশ্লেষণ	কারণ ও প্রভাব
সুপারিশ	ধাপ, খরচ, সময়, ঝুঁকি
পরিশিষ্ট	ডেটা, ম্যাপ

ঘ) ভালো লেখার কৌশল

- ছোট বাক্য; সক্রিয় ভাষা ('আমরা ড্রাইভ টেস্ট করেছি', 'টেস্ট করা হয়েছে' নয়); সংখ্যা ও ইউনিট; **BLUF** (Bottom Line Up Front — সিদ্ধান্ত আগে, ব্যাখ্যা পরে); বুলেট পয়েন্ট; একাধিক পাঠকের জন্য আলাদা স্তরের বিস্তারিত।

১৬.৬ মৌখিক যোগাযোগ ও উপস্থাপনা

- **উপস্থাপনার কাঠামো:** ভূমিকা (হুক + উদ্দেশ্য) → মূল ৩টি পয়েন্ট → সমাপ্তি (সারসংক্ষেপ + পদক্ষেপ)। "Tell them what you'll tell them, tell them, tell them what you told them."
- **স্লাইড:** একটি স্লাইডে একটি ধারণা, কম টেক্সট, বড় ফন্ট, ডায়াগ্রাম।
- **কণ্ঠ ও দেহভঙ্গি:** গতি ও বিরতি, চোখের যোগাযোগ, সোজা ভঙ্গি।
- **মিটিং:** আগে এজেন্ডা, সময়সীমা, শেষে **মিনিটস** ও অ্যাকশন আইটেম (কে, কী, কবে)।

১৬.৭ গ্রাহক ও টিমের সাথে যোগাযোগ

- **গ্রাহক অভিযোগ:** শোনা → সমবেদনা → ক্ষমা/স্বীকার → সমাধান বা সময়সীমা → ফলো-আপ (HEAT: Hear, Empathize, Apologize, Take action)।
- **খারাপ খবর দেওয়া:** সরাসরি কিন্তু বিনয়ী; কারণ + সমাধানের পরিকল্পনা।
- **সংঘাত নিরসন:** ব্যক্তি নয়, সমস্যা নিয়ে কথা; **"আমি" বার্তা** ('আমার মনে হচ্ছে ডেলিভারি দেরি হচ্ছে' vs 'আপনি দেরি করেন')।
- **ফিডব্যাক:** SBI মডেল — Situation (কখন/কোথায়), Behaviour (কী দেখা গেছে), Impact (প্রভাব)।

১৬.৮ প্রফেশনাল এথিক্স ও টিমওয়ার্ক

- গোপনীয়তা (গ্রাহক ডেটা), সততা, সময়ানুবর্তিতা, দায়িত্ব নেওয়া, ভুল স্বীকার, টিমের সাফল্য ভাগ করা, সরকারি প্রতিষ্ঠানে স্বচ্ছতা ও জবাবদিহি।

১৬.৯ ভাইভার জন্য প্রস্তুতি

প্রশ্ন	কীভাবে উত্তর দেবেন (সূত্র)
নিজের সম্পর্কে বলুন	৩০–৬০ সেকেন্ড: নাম/ডিগ্রি → প্রযুক্তিগত আগ্রহ/অভিজ্ঞতা → কেন টেলিটক
কেন টেলিটক?	জাতীয় অপারেটর, দেশের ডিজিটাল অগ্রগতিতে ভূমিকা, বড় সম্ভাবনা, শেখার সুযোগ
৪জি আর ৫জির পার্থক্য?	গতি, লেটেন্সি, স্লাইসিং, SBA কোর, ম্যাসিভ MIMO (অধ্যায় ৪, ৮)
কল ড্রপ কমাবেন কীভাবে?	কারণ বিশ্লেষণ (কভারেজ, ইন্টারফারেন্স, হ্যান্ডওভার, ব্যাকহোল, পাওয়ার), নির্দিষ্ট ব্যবস্থা, KPI
চাপ সামলান কীভাবে?	অগ্রাধিকার ঠিক করা, টিমে দায়িত্ব ভাগ, যোগাযোগ, উদাহরণ
দুর্বলতা?	সৎ ও বাস্তব দুর্বলতা + কীভাবে উন্নতি করছেন

> **ভাইভার দিন**
> সার্কুলারে ভাইভায় মূল সনদ, Applicant Form, প্রবেশপত্রসহ সব কাগজপত্রের মূল কপি, ১ সেট সত্যায়িত ফটোকপি ও ২ কপি পাসপোর্ট-সাইজ ছবি আনতে বলা হয়েছে (সার্কুলারের ক্রমিক ০৬) — কাগজপত্র গুছিয়ে রাখুন।

অনুশীলনী (MCQ)

1. যোগাযোগ প্রক্রিয়ায় কোনটি বার্তা পৌঁছানো যাচাই করে?

(ক) নয়েজ (খ) ফিডব্যাক
(গ) মাধ্যম (ঘ) এনকোডিং

উত্তর: (খ) — ফিডব্যাক বোঝা নিশ্চিত করে।

2. ৭C-এর কোনটি ‘সংক্ষিপ্ত’ বোঝায়?

(ক) Concise (খ) Concrete
(গ) Complete (ঘ) Courteous

উত্তর: (ক) — Concise।

3. কোনটি অমৌখিক যোগাযোগ?

(ক) ইমেইল (খ) দেহভঙ্গি
(গ) টেলিফোন কথোপকথন (ঘ) মেমো

উত্তর: (খ) — দেহভঙ্গি/চোখের ভাষা।

4. BLUF-এর অর্থ?

(ক) সিদ্ধান্ত আগে, ব্যাখ্যা পরে (খ) ব্যাখ্যা আগে
(গ) শুধু টেবিল (ঘ) ছবি আগে

উত্তর: (ক) — Bottom Line Up Front।

5. Grapevine কী?

(ক) অনানুষ্ঠানিক যোগাযোগ (খ) আনুষ্ঠানিক চিঠি
(গ) রিপোর্ট (ঘ) ফিডব্যাক ফর্ম

উত্তর: (ক) — Informal communication।

6. সক্রিয় শ্রবণের অংশ নয় কোনটি?

(ক) অন্যের কথা কাটা
(খ) সারাংশ বলে নিশ্চিত হওয়া
(গ) চোখের যোগাযোগ
(ঘ) প্রশ্ন করা

উত্তর: (ক) — কথা কাটা সক্রিয় শ্রবণ নয়।

7. নিচের কোনটি সবচেয়ে ‘Concrete’ বাক্য?

(ক) সিগন্যাল খুব খারাপ
(খ) কিছু সাইটে সমস্যা
(গ) Site A-তে RSRP −112 dBm, ড্রপ রেট ৩%
(ঘ) দ্রুত দেখুন

উত্তর: (গ) — সংখ্যা ও নির্দিষ্টতা।

8. ইমেইলে প্রথম অনুচ্ছেদে কী থাকা উচিত?

(ক) উদ্দেশ্য
(খ) রসিকতা
(গ) সব ডেটা
(ঘ) ক্ষমা

উত্তর: (ক) — উদ্দেশ্য ও অনুরোধ আগে।

9. ঊর্ধ্বতন থেকে অধস্তনকে নির্দেশ কোন প্রবাহ?

(ক) Upward
(খ) Downward
(গ) Horizontal
(ঘ) Diagonal

উত্তর: (খ) — Downward communication।

10. SBI ফিডব্যাক মডেলে ‘B’?

(ক) Benefit
(খ) Behaviour
(গ) Budget
(ঘ) Boundary

উত্তর: (খ) — Situation–Behaviour–Impact।

অধ্যায় ১৭ — অ্যাপটিটিউড (গণিত, যুক্তি ও ডেটা ইন্টারপ্রিটেশন)

Aptitude Related Topic

অ্যাপটিটিউড অংশ স্বল্প সময়ে নম্বর তোলার সেরা জায়গা। নিচে প্রতিটি টপিকের সূত্র, শর্টকাট ও সমাধান করা উদাহরণ আছে। অনুশীলনে প্রতিটি উদাহরণ ঢেকে নিজে করুন।

১৭.১ শতকরা (Percentage)

x% of y = xy/100 | বৃদ্ধি/হ্রাস % = (পরিবর্তন / আগের মান) × 100

উদাহরণ: পরপর বৃদ্ধি ও হ্রাস

দাম ২০% বাড়ার পর ২০% কমলে নেট পরিবর্তন? 1.2 × 0.8 = 0.96 ⇒ **৪% কমেছে**। *শর্টকাট:* +a% ও −a% ⇒ নেট = $-a^2/100$ % = −4%।

উদাহরণ: সংখ্যা বৃদ্ধির হার

প্রতি মাসে আয় ১২০ থেকে ১৫০ হলে বৃদ্ধি = (150−120)/120 × 100 = **২৫%**।

১৭.২ লাভ-ক্ষতি ও ডিসকাউন্ট

লাভ% = (বিক্রয় − ক্রয়)/ক্রয় × 100 | SP = CP × (1 ± %/100) | সিরিজ ডিসকাউন্ট: $(1-d_1)(1-d_2)$

উদাহরণ: লাভ

ক্রয় ৮০০, বিক্রয় ৯২০ ⇒ লাভ = 120/800 × 100 = **১৫%**।

উদাহরণ: পরপর ডিসকাউন্ট

মূল্য ১০০০ টাকা; ২০% ও ১০% ছাড়: 1000 × 0.8 × 0.9 = 720 ⇒ একক ছাড় = **২৮%** (২০+১০−(২০×১০/১০০) = ২৮)।

১৭.৩ অনুপাত ও সমানুপাত

উদাহরণ: যৌগিক অনুপাত

A:B = 2:3 এবং B:C = 4:5। B সমান করতে: A:B = 8:12, B:C = 12:15 ⇒ **A:B:C = 8:12:15**।

উদাহরণ: বণ্টন

৩৫০০ টাকা 2:3:5 অনুপাতে ভাগ: মোট ভাগ = 10; এক ভাগ = 350 ⇒ **৭০০, ১০৫০, ১৭৫০**।

১৭.৪ গড় (Average)

গড় = সংখ্যার যোগফল / সংখ্যা

উদাহরণ: সংখ্যা বাদ দিলে

৫টি সংখ্যার গড় ২০ (যোগফল ১০০)। একটি বাদ দিলে গড় ১৮ হয় (বাকি ৪টির যোগফল ৭২)। বাদ দেওয়া সংখ্যা = 100 − 72 = **২৮**।

১৭.৫ সময় ও কাজ, পাইপ-ট্যাংক

A একা a দিনে, B একা b দিনে ⇒ একসাথে = ab/(a+b) দিন | দৈনিক কাজ = 1/দিন

উদাহরণ: একসাথে কাজ

A = 12 দিন, B = 18 দিন ⇒ একসাথে = (12×18)/(12+18) = 216/30 = **৭.২ দিন**।

উদাহরণ: পাইপ

ইনলেট ৬ ঘণ্টায় ভরে, আউটলেট ৮ ঘণ্টায় খালি করে; দুটো একসাথে খুললে: 1/6 − 1/8 = 1/24 ⇒ **২৪ ঘণ্টা**।

১৭.৬ গতি, দূরত্ব, সময়

গতি = দূরত্ব / সময় | km/h → m/s: × 5/18 | একই দূরত্বে গড় গতি = 2uv/(u+v)

উদাহরণ: গড় গতি

যেতে ৬০ km/h, ফিরতে ৪০ km/h (একই পথ) ⇒ গড় = 2×60×40/(60+40) = **৪৮ km/h** (৫০ নয়!)।

উদাহরণ: ট্রেন

১৫০ মিটার ট্রেন খুঁটি পার হয় ১০ সেকেন্ডে ⇒ গতি = 15 m/s = 15 × 18/5 = **৫৪ km/h**।

উদাহরণ: বিপরীতমুখী ট্রেন

১২০ m (৩৬ km/h) ও ৮০ m (৫৪ km/h) বিপরীতমুখী ⇒ আপেক্ষিক গতি = 90 km/h = 25 m/s; মোট দৈর্ঘ্য ২০০ m ⇒ সময় = 200/25 = **৮ সেকেন্ড**।

১৭.৭ সরল ও চক্রবৃদ্ধি সুদ

SI = P·r·t/100 | $A = P(1 + r/100)^t$ | CI = A − P

উদাহরণ: সুদ

P = ১০,০০০, r = ১০%, t = ২ বছর: SI = **২০০০**; $A = 10000 \times 1.1^2 = 12100$ ⇒ CI = **২১০০**। পার্থক্য = 100 = $P(r/100)^2$।

১৭.৮ বয়স, বীজগণিত

উদাহরণ: বয়স

পিতার বয়স পুত্রের ৩ গুণ; ১২ বছর পর ২ গুণ। পুত্রের বর্তমান বয়স x: 3x + 12 = 2(x + 12) ⇒ **x = ১২** (পিতা ৩৬)।

উদাহরণ: দ্বিঘাত সমীকরণ

$x^2 - 5x + 6 = 0 \Rightarrow (x-2)(x-3) = 0 \Rightarrow$ **x = 2, 3**। সাধারণ: $ax^2+bx+c=0 \Rightarrow x = (-b \pm \sqrt{(b^2-4ac)}) / 2a$; মূলদ্বয়ের যোগফল = $-b/a$, গুণফল = c/a।

১৭.৯ ক্রম-বিন্যাস, সমাবেশ ও সম্ভাবনা

$P(n,r) = n!/(n-r)!$ | $C(n,r) = n!/(r!(n-r)!)$ | পুনরাবৃত্ত অক্ষরের বিন্যাস = $n!/(p!q!r!)$ | সম্ভাবনা = অনুকূল/মোট

উদাহরণ: শব্দের বিন্যাস

TELETALK-এ ৮ অক্ষর; T×2, E×2, L×2 $\Rightarrow 8!/(2!\cdot2!\cdot2!) = 40320/8 =$ **৫০৪০**।

উদাহরণ: কমিটি

১০ জন থেকে ৩ জন বাছাই: $C(10,3) = 10\times9\times8/6 =$ **১২০**।

উদাহরণ: দুটি ছক্কা

যোগফল ৭ হওয়ার সম্ভাবনা: অনুকূল (1,6),(2,5),(3,4),(4,3),(5,2),(6,1) = ৬; মোট ৩৬ $\Rightarrow$ **১/৬**।

১৭.১০ জ্যামিতি ও পরিমিতি

- পিথাগোরাস: $a^2 + b^2 = c^2$ (3-4-5, 5-12-13)। বৃত্ত: ক্ষেত্রফল πr^2, পরিধি $2\pi r$। সিলিন্ডার আয়তন $\pi r^2 h$। গোলক $4/3\ \pi r^3$। ত্রিভুজ $\frac{1}{2}bh$।

উদাহরণ: বৃত্ত

r = 7 cm $\Rightarrow$ ক্ষেত্রফল = $(22/7) \times 49 =$ **১৫৪ cm²**; পরিধি = $2\times(22/7)\times7 =$ **৪৪ cm**।

১৭.১১ সংখ্যা পদ্ধতি (ইঞ্জিনিয়ারদের জন্য বিশেষ)

দশমিক	বাইনারি	হেক্স
10	1010	A
45	101101	2D
255	11111111	FF
100	1100100	64

রূপান্তর: দশমিক → বাইনারি: বারবার ২ দিয়ে ভাগ, ভাগশেষ নিচ থেকে উপরে। 45 → 45=22·2+1; 22=11·2+0; 11=5·2+1; 5=2·2+1; 2=1·2+0; 1=0·2+1 $\Rightarrow$ **101101**। IP সাবনেটিংয়ে ও স্ক্রিপ্টিংয়ে কাজে লাগে।

১৭.১২ ক্রম/সিরিজ

সিরিজ	নিয়ম	পরের পদ
2, 6, 12, 20, 30, ?	n(n+1)	42
3, 6, 12, 24, ?	×2	48
1, 4, 9, 16, 25, ?	বর্গ	36
2, 3, 5, 7, 11, ?	মৌলিক	13
1, 1, 2, 3, 5, 8, ?	ফিবোনাচ্চি	13

১৭.১৩ ডেটা ইন্টারপ্রিটেশন

টেবিল/বার/লাইন চার্ট দেখে শতকরা পরিবর্তন, অনুপাত, গড় বের করতে হয়। নিয়ম: (১) ইউনিট দেখুন (হাজার/লক্ষ); (২) অক্ষের শুরু; (৩) আনুমানিক হিসাব আগে করে অপশন বাদ দিন।

উদাহরণ: নেটওয়ার্ক KPI

মাস: জানু 98.2%, ফেব্রু 98.6%, মার্চ 97.8% (CSSR) ⇒ গড় = (98.2+98.6+97.8)/3 = 294.6/3 = **৯৮.২%**। ফেব্রু থেকে মার্চে পরিবর্তন = −0.8 শতাংশ-পয়েন্ট (সাপেক্ষ পরিবর্তন ≈ −০.৮১%) — 'শতাংশ-পয়েন্ট' ও 'শতাংশ' আলাদা!

১৭.১৪ যুক্তি ও বিশ্লেষণাত্মক চিন্তা

- **কোডিং-ডিকোডিং:** CAT → DBU (প্রতি অক্ষর +১)। **দিক:** ৫ km উত্তরে, ৩ km পূর্বে, ৫ km দক্ষিণে গেলে শুরু থেকে **৩ km পূর্বে**।
- **র‍্যাঙ্ক:** উপর থেকে ৭ম ও নিচ থেকে ১৮তম ⇒ মোট = 7 + 18 − 1 = **২৪**।
- **রক্ত-সম্পর্ক:** "A হলো B-র বাবার একমাত্র বোন" ⇒ A, B-র **ফুফু (পিসি)**।
- **সিলোজিজম:** সব ইঞ্জিনিয়ার বুদ্ধিমান; কিছু বুদ্ধিমান সৎ ⇒ "সব ইঞ্জিনিয়ার সৎ" নিশ্চিত নয়।
- **ক্যালেন্ডার:** ১৪ অক্টোবর ২০২৬ বুধবার ⇒ ১৬ অক্টোবর ২০২৬ = **শুক্রবার**।

> **সময় ব্যবস্থাপনা**
> প্রতিটি অ্যাপটিটিউড প্রশ্নে ৪৫–৬০ সেকেন্ডের বেশি নয়; আটকে গেলে অপশন বসিয়ে পরীক্ষা (back-substitution) করুন; নেগেটিভ মার্কিং থাকলে অনুমান নয়, নিশ্চিত হয়ে দাগান (নেগেটিভ মার্কিং আছে কিনা পরীক্ষার নির্দেশনায় দেখুন)।

অনুশীলনী (MCQ)

1. দাম ২৫% বাড়ানোর পর ২০% কমালে নেট পরিবর্তন?

(ক) ৫% বৃদ্ধি
(খ) ০%
(গ) ৫% হ্রাস
(ঘ) ৪% বৃদ্ধি

উত্তর: (খ) — 1.25×0.8 = 1.0 ⇒ ০%।

2. ক্রয় ৬০০, বিক্রয় ৭৫০ ⇒ লাভ%?

(ক) ২০%
(খ) ২৫%
(গ) ৩০%
(ঘ) ১৫%

উত্তর: (খ) — 150/600 = 25%।

3. ৩০% ও ২০% পরপর ছাড় ⇒ একক ছাড়?

(ক) ৪৪%
(খ) ৫০%
(গ) ৪০%
(ঘ) ৪৮%

উত্তর: (ক) — 0.7×0.8 = 0.56 ⇒ ৪৪%।

4. A:B = 3:4, B:C = 6:7 ⇒ A:B:C?

(ক) 9:12:14
(খ) 3:4:7
(গ) 18:24:28
(ঘ) 9:8:7

উত্তর: (ক) — B=12 ধরে: A=9, C=14।

5. A ১০ দিনে, B ১৫ দিনে কাজ করে; একসাথে কত দিন?

(ক) ৫
(খ) ৬
(গ) ৮
(ঘ) ১২.৫

উত্তর: (খ) — 150/25 = 6।

6. ২০ m/s কত km/h?

(ক) ৫৪
(খ) ৭২
(গ) ৯০
(ঘ) ৩৬

উত্তর: (খ) — 20×18/5 = 72।

7. যেতে ৩০ km/h, ফিরতে ৬০ km/h ⇒ গড় গতি?

(ক) ৪৫
(খ) ৪০
(গ) ৫০
(ঘ) ৩৫

উত্তর: (খ) — 2×30×60/90 = 40।

8. P = ৫০০০, r = ১০%, ২ বছরের চক্রবৃদ্ধি সুদ?

(ক) ১০০০
(খ) ১০৫০
(গ) ১১০০
(ঘ) ১২১০

উত্তর: (খ) — 5000×1.21 − 5000 = 1050।

9. C(8,2) = ?

(ক) ১৬
(খ) ২৮
(গ) ৫৬
(ঘ) ৬৪

উত্তর: (খ) — 8×7/2 = 28।

10. 'LETTER' শব্দের অক্ষর সাজানোর উপায় (L,E,T,T,E,R)?

(ক) ১৮০
(খ) ৩৬০
(গ) ৭২০
(ঘ) ১২০

উত্তর: (ক) — 6!/(2!·2!) = 720/4 = ১৮০।

11. ১১০১₂ (বাইনারি) = দশমিকে?

(ক) ১১
(খ) ১২
(গ) ১৩
(ঘ) ১৫

উত্তর: (গ) — 8+4+0+1 = 13।

12. সিরিজ: 5, 10, 20, 40, ?

(ক) ৬০ (খ) ৮০

(গ) ৭০ (ঘ) ১০০

উত্তর: (খ) — ×2।

13. উপর থেকে ১২তম, নিচ থেকে ২০তম ⇒ মোট শিক্ষার্থী?

(ক) ৩১ (খ) ৩২

(গ) ৩০ (ঘ) ৩৩

উত্তর: (ক) — 12+20−1 = 31।

14. $x^2 - 7x + 12 = 0$-এর মূল?

(ক) 3, 4 (খ) 2, 6

(গ) 1, 12 (ঘ) −3, −4

উত্তর: (ক) — (x−3)(x−4)।

পরিশিষ্ট

সূত্র-সারসংক্ষেপ · নোডের তুলনা · সংক্ষেপ-তালিকা · মডেল টেস্ট

ক. সব সূত্র এক জায়গায়

বিষয়	সূত্র	মান/উদাহরণ
dB / dBm	$10 \log(P_2/P_1)$; $10 \log(P/1mW)$	1 W = 30 dBm; ×2 = +3 dB
Shannon	$C = B \log_2(1+SNR)$	20 MHz, 15 dB ⇒ ≈ 100.6 Mbps
নয়েজ ফ্লোর	$-174 + 10 \log B + NF$ (dBm)	20 MHz ⇒ −101 dBm (NF 0)
λ	c / f	1800 MHz ⇒ 16.7 cm
FSPL	$32.44 + 20 \log d(km) + 20 \log f(MHz)$	2 km, 1800 MHz ⇒ 103.57 dB
ডপলার	$f_d = v f / c$	100 km/h, 2 GHz ⇒ 185 Hz
PCM	$f_s = 2 f_{max}$; বিটরেট = f_s × বিট	64 kbps; E1 = 2.048 Mbps
ক্লাস্টার	$N = i^2+ij+j^2$; $D/R = \sqrt{(3N)}$	N=7 ⇒ Q=4.58
SIR (৬ ইন্টারফেরার)	$(D/R)^n / 6$	N=7, n=4 ⇒ 18.7 dB
Erlang	$A = \lambda h$; $B(E,m)=E·B(E,m−1)/(m+E·B(E,m−1))$	E=10,m=15 ⇒ 3.65%
LTE 20 MHz	1200 SC × 14 × 1000 × bits	64QAM ⇒ 100.8 Mbps/layer
CPRI/অ্যান্টেনা	$f_s·2·15·(16/15)·(10/8)$	30.72 MS/s ⇒ 1228.8 Mbps
NR SCS	15·2^μ kHz; slot = 1ms/2^μ	μ=1 ⇒ 30 kHz, 0.5 ms
WCDMA Gp	chip rate / bit rate	3.84M/12.2k ⇒ 25 dB
BDP	BW × RTT	100 Mbps×50 ms ⇒ 625 kB
অ্যাভেইলেবিলিটি	সিরিজ A_1A_2; প্যারালাল $1−(1−A)^n$	2×99.9% ‖ ⇒ 99.9999%
ব্যাটারি	$Ah = I t /(DoD) \times K$	30 A, 4 h ⇒ 150→188 Ah
VoLTE	payload = rate × 20 ms	12.65 kbps ⇒ 32 B
Fresnel	$17.3\sqrt{(d_1d_2/(f d))}$	10 km, 7 GHz ⇒ 10.3 m
Hata (900,50m,5km)	$69.55+26.16 \log f −13.82 \log hb − a + (44.9−6.55 \log hb) \log d$	≈ 146.9 dB

খ. প্রজন্ম অনুযায়ী মূল নোড

প্রজন্ম	RAN	কন্ট্রোল	ইউজার প্লেন	ডেটাবেস	ভয়েস
2G	BTS/BSC	MSC/VLR	MSC (CS) / SGSN	HLR/AuC	CS
3G	NodeB/RNC	MSC, SGSN	SGSN/GGSN	HLR	CS
4G	eNB	MME	SGW/PGW	HSS	VoLTE (IMS)
5G	gNB (CU/DU/RU)	AMF/SMF	UPF	UDM/UDR/AUSF	VoNR / EPS-FB

গ. ইন্টারফেস সারসংক্ষেপ (MCQ-র প্রিয় জায়গা)

ইন্টারফেস	সংযোগ	মনে রাখার কৌশল
S1-MME / S1-U	eNB–MME / eNB–SGW	MME = সিগন্যাল; U = User ডেটা
S11	MME–SGW	—
S5/S8	SGW–PGW	S8 = রোমিং
S6a	MME–HSS	—
Gx / Rx	PGW–PCRF / P-CSCF–PCRF	Gx = Gateway-র পলিসি
X2 / Xn	eNB–eNB / gNB–gNB	—
N1/N2/N3	UE–AMF / gNB–AMF / gNB–UPF	N3 = ডেটা
N4	SMF–UPF	PFCP
N6	UPF–DN	—
N11	AMF–SMF	—
N12/N13	AMF–AUSF / AUSF–UDM	—
Gm / Mw / ISC / Cx	UE–P-CSCF / CSCF–CSCF / S-CSCF–AS / CSCF–HSS	IMS
F1 / E1 / E2 / A1 / O1 / O2	CU–DU / CU-CP–UP / RIC–CU/DU / Non-RT–Near-RT RIC / SMO–নোড / SMO–Cloud	O-RAN

ঘ. সংক্ষিপ্ত রূপ

সংক্ষেপ	পূর্ণরূপ	সংক্ষেপ	পূর্ণরূপ
AKA	Authentication and Key Agreement	**AMF**	Access & Mobility Mgmt Function
AMR-WB	Adaptive Multi-Rate Wideband	**APN**	Access Point Name
AUSF	Authentication Server Function	**AuC**	Authentication Centre
BBU	Baseband Unit	**BSC**	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station	**BTRC**	Bangladesh Telecom Regulatory Commission
CDMA	Code Division Multiple Access	**CHF**	Charging Function
CP	Cyclic Prefix	**CPRI**	Common Public Radio Interface
CSCF	Call Session Control Function	**CSFB**	Circuit Switched Fallback
CU/DU/RU	Central/Distributed/Radio Unit	**CUPS**	Control & User Plane Separation
DNN	Data Network Name	**DoD**	Depth of Discharge
eMBB	enhanced Mobile Broadband	**EIR**	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core	**EPS**	Evolved Packet System
FDD/TDD	Frequency/Time Division Duplex	**GGSN**	Gateway GPRS Support Node
GoS	Grade of Service	**GPRS**	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile	**GTP**	GPRS Tunnelling Protocol
HLR	Home Location Register	**HSS**	Home Subscriber Server
IMEI	Intl. Mobile Equipment Identity	**IMS**	IP Multimedia Subsystem
IMSI	Intl. Mobile Subscriber Identity	**KPI**	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution	**LVD**	Low Voltage Disconnect
MANO	Management & Orchestration	**MGW**	Media Gateway
MIMO	Multiple Input Multiple Output	**MME**	Mobility Management Entity
mMTC	massive Machine Type Comm.	**MSC**	Mobile Switching Centre
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number	**NAS**	Non-Access Stratum
NFV	Network Function Virtualization	**NGAP**	NG Application Protocol
NR	New Radio	**NRF**	NF Repository Function
NSSAI	Network Slice Selection Assistance Info	**NSSF**	Network Slice Selection Function
OFDMA	Orthogonal Freq. Division Multiple Access	**O-RAN**	Open Radio Access Network
PCRF/PCF	Policy & Charging Rules / Policy Control Function	**PDN**	Packet Data Network
PGW	PDN Gateway	**PLMN**	Public Land Mobile Network
PTP	Precision Time Protocol	**QCI/5QI**	QoS Class Identifier
RAN	Radio Access Network	**RIC**	RAN Intelligent Controller

RRC	Radio Resource Control	**RSRP**	Reference Signal Received Power
SBA	Service-Based Architecture	**SDN**	Software Defined Networking
SGSN	Serving GPRS Support Node	**SGW**	Serving Gateway
SIP	Session Initiation Protocol	**SMF**	Session Management Function
SMO	Service Mgmt & Orchestration	**SRVCC**	Single Radio Voice Call Continuity
SUPI/SUCI	Subscription Permanent/Concealed Identifier	**TAU**	Tracking Area Update
TDMA	Time Division Multiple Access	**TEID**	Tunnel Endpoint Identifier
UDM	Unified Data Management	**UPF**	User Plane Function
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Comm.	**VLR**	Visitor Location Register
VNF	Virtual Network Function	**VoLTE**	Voice over LTE
VRLA	Valve Regulated Lead Acid	**WCDMA**	Wideband CDMA

ঙ. শেষ ২৪ ঘণ্টার চেকলিস্ট

- ☐ 4G EPC ও 5GC ডায়াগ্রাম ইন্টারফেসের নামসহ হাতে আঁকতে পারি
- ☐ Attach / Registration / VoLTE কলের ধাপগুলো ক্রমে বলতে পারি
- ☐ AKA (RAND, AUTN, RES/XRES, K_{ASME}) বুঝিয়ে বলতে পারি
- ☐ dB, FSPL, Shannon, Erlang, SIR, ব্যাটারি Ah — সূত্র বসিয়ে করতে পারি
- ☐ NFV (MANO), C-RAN বনাম O-RAN, স্লাইসিং (S-NSSAI) বুঝিয়ে বলতে পারি
- ☐ বাংলাদেশ: BTRC, অপারেটর, MCC/MNC, 5G নিলাম/লঞ্চ সাল মনে আছে
- ☐ NID মূল কপি, প্রবেশপত্র, কলম/পেন্সিল, ক্যালকুলেটর (অনুমোদিত হলে) প্রস্তুত; পরীক্ষাকেন্দ্র আগে থেকে চিনে রাখা

মডেল টেস্ট

৩০টি MCQ — ৪৫ মিনিটে করুন, তারপর উত্তর মেলান

নিয়ম: সময় ধরুন (৩০টি → ৪৫ মিনিট), উত্তর ঢেকে রাখুন (প্রতিটি প্রশ্নের নিচেই উত্তর দেওয়া আছে — কাগজ দিয়ে ঢাকুন)। ৭০%+ হলে ভালো প্রস্তুতি।

অনুশীলনী (MCQ)

1. LTE-তে ইউজারকে IP অ্যাড্রেস সাধারণত কোন নোড দেয়?

(ক) MME (খ) SGW
(গ) PGW (ঘ) eNB

উত্তর: (গ) — PGW (5G-তে SMF/UPF)।

2. 5G কোরে মবিলিটি ম্যানেজমেন্টের দায়িত্বে কে?

(ক) SMF (খ) AMF
(গ) UPF (ঘ) NRF

উত্তর: (খ) — AMF।

3. কোন ইন্টারফেস SMF ও UPF-কে যুক্ত করে?

(ক) N2 (খ) N3
(গ) N4 (ঘ) N6

উত্তর: (গ) — N4 (PFCP)।

4. IMS-এ সার্ভিস ট্রিগার করে কোন নোড?

(ক) P-CSCF (খ) I-CSCF
(গ) S-CSCF (ঘ) MGCF

উত্তর: (গ) — S-CSCF (iFC → AS)।

5. VoLTE-র ভয়েস বেয়ারারের QCI?

(ক) 1 (খ) 5
(গ) 8 (ঘ) 9

উত্তর: (ক) — QCI 1।

6. IMSI-এর সর্বোচ্চ ডিজিট?

(ক) ১০ (খ) ১২
(গ) ১৫ (ঘ) ১৬

উত্তর: (গ) — ১৫।

7. টেলিটকের MCC-MNC?

(ক) 470-01 (খ) 470-02
(গ) 470-03 (ঘ) 470-04

উত্তর: (ঘ) — 470-04।

8. 1 W কত dBm?

(ক) 10 (খ) 20
(গ) 30 (ঘ) 33

উত্তর: (গ) — 30 dBm।

9. N = 7 হলে D/R?

(ক) 3.0 (খ) 4.58
(গ) 5.2 (ঘ) 7.0

উত্তর: (খ) — √21।

10. E = 10 Erlang, m = 15 চ্যানেল হলে Erlang B ব্লকিং প্রায়?

(ক) 0.4% (খ) 3.65%
(গ) 10% (ঘ) 25%

উত্তর: (খ) — রিকার্শন: 0.0365।

11. LTE 20 MHz-এ RB সংখ্যা?

(ক) 50 (খ) 75
(গ) 100 (ঘ) 200

উত্তর: (গ) — 100 RB।

12. 5G NR 30 kHz SCS-এ slot সময়?

(ক) 1 ms (খ) 0.5 ms
(গ) 0.25 ms (ঘ) 0.125 ms

উত্তর: (খ) — μ=1।

13. LTE ১ অ্যান্টেনা, 20 MHz CPRI রেট?

(ক) 614.4 Mbps (খ) 1228.8 Mbps
(গ) 2457.6 Mbps (ঘ) 9.8 Gbps

উত্তর: (খ) — 30.72M×2×15×16/15×10/8।

14. O-RAN-এ Near-RT RIC-এর লুপ?

(ক) <1 ms (খ) 10 ms–1 s
(গ) এক মিনিট (ঘ) ঘণ্টা

উত্তর: (খ) — xApps।

15. কোন প্রযুক্তি ফাংশনকে হার্ডওয়্যার থেকে আলাদা করে?

(ক) SDN (খ) NFV
(গ) CDMA (ঘ) SDH

উত্তর: (খ) — NFV।

16. NFV-তে VNF লাইফসাইকেল ম্যানেজ করে?

(ক) NFVO (খ) VNFM
(গ) VIM (ঘ) NFVI

উত্তর: (খ) — VNFM।

17. S-NSSAI-র SST = 2?

(ক) eMBB (খ) URLLC
(গ) MIoT (ঘ) V2X

উত্তর: (খ) — URLLC।

18. mMTC-এর লক্ষ্য ঘনত্ব?

(ক) 10^3/km² (খ) 10^4/km²
(গ) 10^6/km² (ঘ) 10^8/km²

উত্তর: (গ) — ১০ লক্ষ।

19. LTE X2 হ্যান্ডওভারের শেষে কোন বার্তা পথ বদলায়?

(ক) Path Switch Request (খ) Paging
(গ) Attach (ঘ) RACH Msg1

উত্তর: (ক) — eNB → MME।

20. GSM MTC-তে MSRN কে বরাদ্দ করে?

(ক) HLR (খ) VLR
(গ) BSC (ঘ) GMSC

উত্তর: (খ) — VLR।

21. অথেন্টিকেশনে MME কীসের সাথে RES তুলনা করে?

(ক) RAND (খ) XRES
(গ) AUTN (ঘ) KASME

উত্তর: (খ) — XRES।

22. 5G-তে এয়ারে SUPI-র বদলে কী যায়?

(ক) SUCI (খ) GUTI
(গ) IMEI (ঘ) MSRN

উত্তর: (ক) — SUCI।

23. −48 V বাসে 1.5 kW লোডের কারেন্ট?

(ক) 15 A (খ) 31.25 A
(গ) 48 A (ঘ) 72 A

উত্তর: (খ) — 1500/48।

24. ২৪ সেল VRLA ফ্লোট ভোল্টেজ প্রায়?

(ক) 48 V (খ) 52 V
(গ) 54 V (ঘ) 58 V

উত্তর: (গ) — 24×2.25 = 54 V।

25. SIP-এ ‘180’ কী?

(ক) Trying (খ) Ringing
(গ) OK (ঘ) Busy Here

উত্তর: (খ) — Ringing।

26. BTRC কোন আইনের অধীনে?

(ক) টেলিযোগাযোগ আইন ২০০১ (খ) ICT আইন ২০০৬

(গ) বিদ্যুৎ আইন (ঘ) কোম্পানি আইন ১৯৯৪

উত্তর: (ক) — ২০০১।

27. বাংলাদেশে 5G নিলাম হয়েছে?

(ক) ২০১৮ (খ) ৩১ মার্চ ২০২২

(গ) ২০২৫ (ঘ) হয়নি

উত্তর: (খ) — ২০২২।

28. ২০% বৃদ্ধি ও ২০% হ্রাসের নেট ফল?

(ক) ০% (খ) ৪% হ্রাস

(গ) ৪% বৃদ্ধি (ঘ) ২০% হ্রাস

উত্তর: (খ) — 1.2×0.8 = 0.96।

29. A ১২ দিন, B ১৮ দিনে কাজ করে; একসাথে?

(ক) ৬ (খ) ৭.২

(গ) ৮ (ঘ) ১০

উত্তর: (খ) — 216/30।

30. TELETALK অক্ষরগুলো সাজানোর উপায়?

(ক) ৫০৪০ (খ) ৪০৩২০

(গ) ২৫২০ (ঘ) ১০০৮০

উত্তর: (ক) — 8!/(2!2!2!) = 5040।