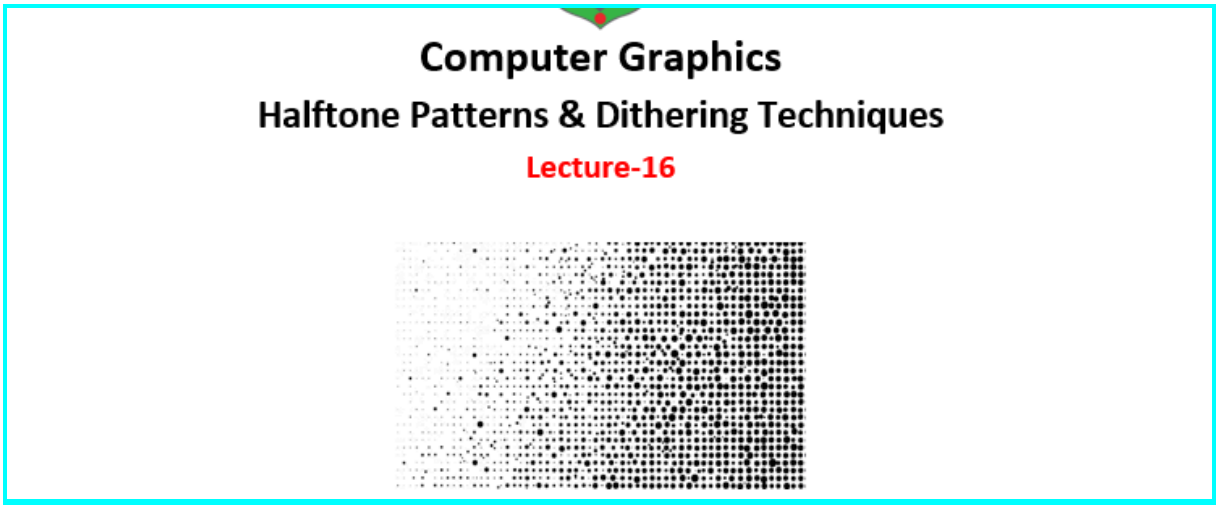


🖥️ Halftone Patterns & Dithering Techniques — Lecture 16

সম্পূর্ণ বাংলায় বিস্তারিত নোট

📌 আগে বুঝো — সমস্যাটা কী?

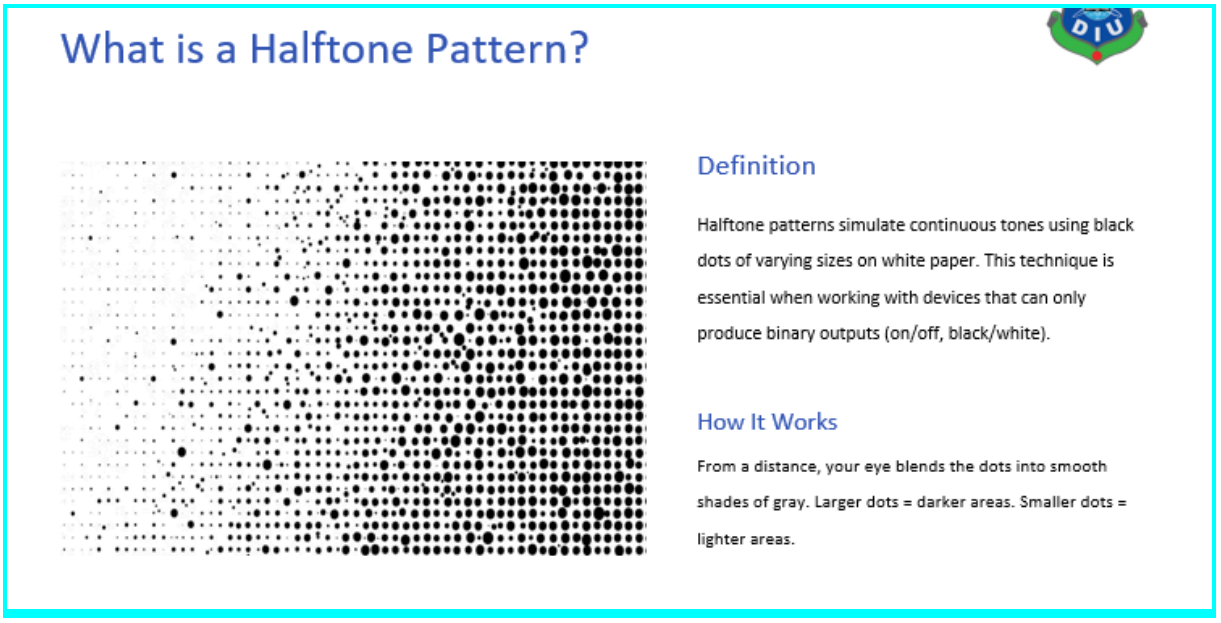
কম্পিউটার বা প্রিন্টার অনেক সময় সীমিত রঙ বা shade তৈরি করতে পারে।

> উদাহরণ: একটা সাধারণ প্রিন্টার শুধু কালো বা সাদা ছাপাতে পারে — মাঝের ধূসর (gray) রঙ সরাসরি ছাপাতে পারে না।

তাহলে একটা মানুষের ফটো প্রিন্ট করলে তার মুখের বিভিন্ন shade কীভাবে দেখাবে?

সমাধান দুটো:

1. **Halftone Pattern** — printing-এর জন্য
2. **Dithering** — digital display-এর জন্য



1 Halftone Pattern (হাফটোন প্যাটার্ন) কী?

সহজ সংজ্ঞা: সাদা কাগজে ছোট-বড় কালো বিন্দু **(dots)** ব্যবহার করে বিভিন্ন ধূসর shade তৈরির কৌশল।

যেসব device শুধু **binary output** দিতে পারে — মানে হয় ON (কালো) নয়তো OFF (সাদা) — সেখানে Halftone ব্যবহার হয়।

কীভাবে কাজ করে:

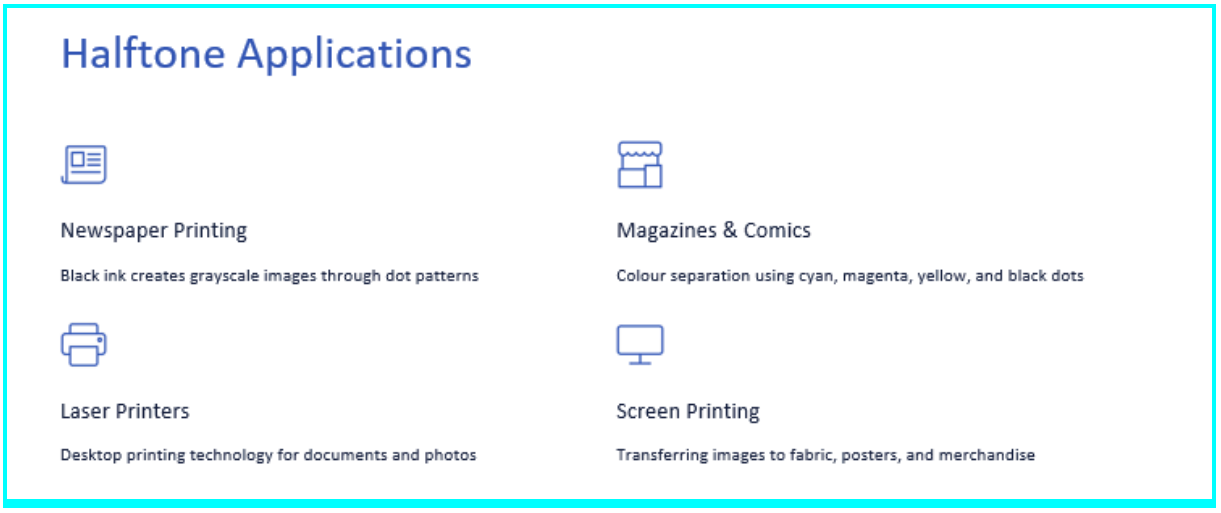
দূর থেকে দেখো:
●●●●●● → গাঢ় ধূসর (অনেক বড় বিন্দু)
● ● ● → মাঝারি ধূসর (মাঝারি বিন্দু)
. . → হালকা ধূসর (ছোট বিন্দু)
  → সাদা (কোনো বিন্দু নেই)

তোমার চোখ দূর থেকে বিন্দুগুলো আলাদা করতে পারে না — সব মিলিয়ে একটা smooth shade দেখায়।

মূল নিয়ম:

- বড় **dot** → গাঢ় **(darker)** এলাকা
- ছোট **dot** → হালকা **(lighter)** এলাকা

📰 উদাহরণ: পুরোনো খবরের কাগজের ছবি খুব কাছে থেকে দেখো — ছোট ছোট কালো বিন্দু দেখা যাবে। দূর থেকে দেখলে মনে হয় মানুষের মুখ, ছবি। এটাই Halftone!



2 Halftone-এর ব্যবহার (Applications)

📰 Newspaper Printing (খবরের কাগজ):

কালো কালি দিয়ে বিন্দুর pattern তৈরি করে grayscale ছবি ছাপানো হয়।

📖 Magazines & Comics (ম্যাগাজিন ও কমিক্স):

রঙিন ছাপার জন্য ৪টি রঙ আলাদাভাবে ব্যবহার হয়:

C — Cyan (নীলাভ)
M — Magenta (গোলাপি-লাল)
Y — Yellow (হলুদ)
K — Black (কালো)

এই চারটো মিলিয়েই সব রঙ তৈরি হয় — একে CMYK বলে

> 🎨 উদাহরণ: Marvel comics-এর পাতা কাছে থেকে দেখলে Cyan, Magenta, Yellow বিন্দু আলাদা দেখা যায়।

🖨️ Laser Printer (লেজার প্রিন্টার):

ঘরের বা অফিসের প্রিন্টারে document ও ছবি প্রিন্টে Halftone ব্যবহার হয়।

👕 Screen Printing (স্ক্রিন প্রিন্টিং):

কাপড়, পোস্টার, মগে ছবি transfer করতে।

3️⃣ Halftone Pattern-এর প্রকারভেদ (Classification)

তিনটো পদ্ধতিতে Halftone তৈরি হয়:

🔵 Amplitude Modulation (AM) — আয়তন পরিবর্তন পদ্ধতি:

Amplitude (আয়তন/আকার) পরিবর্তন হয়, spacing (দূরত্ব) একই থাকে।

● ● ● ← বড় dot, একই দূরত্বে (গাঢ়)
· · · ← ছোট dot, একই দূরত্বে (হালকা)

মানে: dot-গুলো সবসময় একই grid-এ থাকে, শুধু **size** বাড়ে বা কমে।

উদাহরণ: traditional newspaper printing।

🟡 Frequency Modulation (FM) — ঘনত্ব পরিবর্তন পদ্ধতি:

Frequency (ঘনত্ব/**spacing**) পরিবর্তন হয়, dot-এর size একই থাকে।

●●●●● ← একই সাইজ dot, কাছাকাছি (গাঢ়)
● ● ● ← একই সাইজ dot, দূরে দূরে (হালকা)

মানে: dot সব একই আকারের, শুধু কতটা কাছে বা দূরে তা পরিবর্তন হয়।

🟢 Hybrid Methods (হাইব্রিড পদ্ধতি):

AM + FM — দুটোই একসাথে ব্যবহার। Size এবং spacing দুটোই পরিবর্তন হয়।

পদ্ধতি	কী পরিবর্তন হয়	কী একই থাকে
AM	Dot-এর আকার	Dot-এর দূরত্ব
FM	Dot-এর দূরত্ব	Dot-এর আকার
Hybrid	দুটোই	—

4️⃣ Dithering (ডিদারিং) কী?

সহজ সংজ্ঞা: সীমিত রঙ ব্যবহার করে বেশি রঙের ভ্রম **(illusion)** তৈরির কৌশল। পাশাপাশি বিভিন্ন রঙের pixel রেখে এমন রঙ simulate করা যা আসলে device-এ নেই।

Halftone-এর সাথে পার্থক্য**:**

- Halftone: dot-এর আকার বা দূরত্ব পরিবর্তন করে
- Dithering: **fixed grid-**এ **pixel** মিশিয়ে রঙ তৈরি করে

🎨 সহজ উদাহরণ**:** ধরো তোমার কাছে শুধু লাল আর হলুদ রঙ আছে। কমলা রঙ বানাতে হবে। তুমি যদি একটা লাল pixel, একটা হলুদ pixel পাশাপাশি রাখো — দূর থেকে দেখলে কমলা দেখাবে। এটাই Dithering!

Dithering (ডিদারিং) হলো কম্পিউটার গ্রাফিক্সের এমন একটি কৌশল, যার মাধ্যমে কম সংখ্যক রঙ (Limited Color Palette) দিয়ে এমনভাবে পিক্সেলের প্যাটার্ন সাজানো হয়, যাতে দূর থেকে দেখলে মনে হয় সেখানে নতুন বা অনুপস্থিত কোনো রঙ রয়েছে।

সহজ কথায়, এটি চোখের দেখার অপটিক্যাল ইলিউশন (Visual Blending) কাজে লাগিয়ে অনুপস্থিত রঙের আবহে নতুন রঙ তৈরি করে।

১ম স্লাইডের অর্থ (Dithering কীভাবে কাজ করে):

- **Fixed grid of pixels:** স্ক্রিনের পিক্সেলের নির্দিষ্ট গ্রিড বা প্যাটার্ন ব্যবহার করে।
- **Mixing available colours to simulate unavailable ones:** যেসব রঙ সিস্টেমে নেই, সেগুলো তৈরি করতে পজিটিভলি থাকা হাতের কাছের অন্য রঙগুলোকে পাশাপাশি মিশিয়ে সাজানো হয়।
- **Visual blending:** আমাদের চোখ যখন দূর থেকে পাশাপাশি থাকা দুটি ভিন্ন রঙের পিক্সেল দেখে, তখন মস্তিষ্ক নিজে থেকেই ওই দুটি রঙকে ব্লেন্ড বা মিশিয়ে ফেলে একটি নতুন রঙের অনুভূতি (Optical Illusion) তৈরি করে।
  - উদাহরণ: সিস্টেমে 'গোলাপী' রঙ নেই, শুধু 'লাল' আর 'সাদা' পিক্সেল আছে। Dithering-এর মাধ্যমে অল্টারনেট করে লাল ও সাদা পিক্সেল পাশাপাশি বসালে দূর থেকে দেখলে সেটাকে 'গোলাপী' মনে হবে!

২য় স্লাইডের অর্থ (Why Use Dithering? - কেন ডিদারিং ব্যবহার করা হয়):

- **Smooth gradients with fewer colors:** সীমিত সংখ্যক রঙ থাকা সত্ত্বেও শেড বা গ্রেডিয়েন্টগুলোকে স্মুথ (মখমলি) দেখায়।
- **Reduce visible colour steps:** রঙ কমে গেলে ইমেজে যে দাগ বা রেখা (Color Banding) স্পষ্ট হয়ে ওঠে, তা দূর করে।
- **Create realistic textures:** ছবিতে বস্তুর তলের বাস্তবসম্মত টেক্সচার বা খসখসে ভাব ফুটিয়ে তোলে।
- **Improve image quality:** কম বিটের বা কম সাইজের ইমেজের সার্বিক ভিজ্যুয়াল কোয়ালিটি অনেক বাড়িয়ে দেয়।

Dithering কেন ব্যবহার করি:

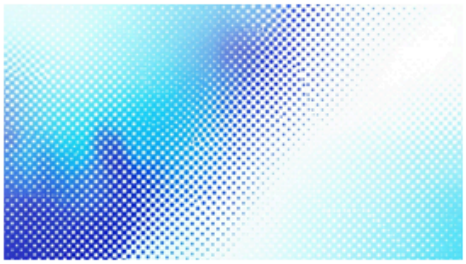
- কম রঙে smooth gradient (ধীরে ধীরে রঙ পরিবর্তন) দেখাতে
- রঙের মাঝে হঠাৎ jump (banding) কমাতে
- বাস্তবসম্মত texture তৈরি করতে
- কম রঙের display-এ image quality বাড়াতে

Halftone vs Dithering

1	2	3
Halftone Patterns	Key Difference	Dithering Techniques
• Physical printing process • Large dot patterns • Amplitude modulation • Printer-focused	Halftone uses physical dot placement for printing; dithering uses pixel-level noise for digital displays.	• Screen-based rendering • Pixel-level manipulation • Error diffusion • Display-focused

Visual Comparison: Halftoning vs Dithering

Halftoning



- Regular, geometric dot patterns
- Predictable spacing and arrangement
- Excellent for printing applications
- Classic newspaper appearance

Dithering

- More randomised, noise-like patterns
- Irregular dot distribution
- Better for digital displays
- Reduced visible patterning

১. Error diffusion দিয়ে shade (এরর ডিফিউশন কীভাবে শেড তৈরি করে)

- **কীভাবে কাজ করে:** কোনো পিক্সেলের আসল কালার বা গ্রেস্কেল মান প্রদর্শন করতে না পারলে সেখানে একটি গাণিতিক ভুল বা "Quantization Error" তৈরি হয়। **Error Diffusion** পদ্ধতিতে এই ভুলটিকে ধরে পার্শ্ববর্তী (ডান, নিচে বা কোনাকুনি) পিক্সেলগুলোর ওপর ছড়িয়ে দেওয়া হয়।
- **শেড তৈরি:** এভাবে প্রতিটি পিক্সেলের এরর বা পার্থক্য আশপাশের পিক্সেলে ভাগ হয়ে যাওয়ার কারণে ইমেজে কোনো হঠাৎ পরিবর্তন মনে হয় না। ফলে কম কালার বা শেড দিয়েও ছায়া, আলো-আঁধারি বা মসৃণ শেডিং (Smooth Shades/Gradients) ফুটিয়ে তোলা সম্ভব হয় (যেমন: Floyd-Steinberg Algorithm)।

২. Dithering = pixel-level noise (ডিজিটাল ডিসপ্লেতে)

- **পিক্সেল লেভেল নয়েজ:** দূর থেকে চোখ দিয়ে দেখলে Dithering-এর ছবি স্মুথ আর সুন্দর মনে হলেও, তুমি যদি ডিজিটাল ডিসপ্লেতে খুব কাছে গিয়ে বা জুম করে দেখো, তবে খেয়াল করবে পিক্সেলগুলো একটি র্যান্ডম বা ছিটানো ডটের মতো দেখাচ্ছে। এই ক্ষুদ্র ডট বা ডট-প্যাটার্নগুলোকেই **Pixel-level noise** বলা হয়।
- **উদ্দেশ্যমূলক নয়েজ:** সাধারণ নয়েজ ছবির ক্ষতি করলেও Dithering-এর এই নয়েজটি ইচ্ছে করেই তৈরি করা হয় (Intentional Noise)। কারণ এই ক্ষুদ্র পিক্সেল-নয়েজটুকু থাকার কারণেই ছবিতে দাগ বা ব্যান্ডিং (Color Banding) তৈরি হয় না এবং চোখের অপটিক্যাল ইলিউশন ব্যবহার করে নতুন রঙের বিভ্রান্তি/শেডিং সফলভাবে তৈরি করা যায়।

5 Halftone বনাম Dithering — সম্পূর্ণ তুলনা

বিষয়	**Halftone**	**Dithering**
মূল ব্যবহার	Physical printing	Digital display

পদ্ধতি	বড়-ছোট dot	Pixel মিশিয়ে
Pattern	নিয়মিত, geometric	অনিয়মিত, noise-এর মতো
Dot বিন্যাস	predictable	irregular
প্রধান পার্থক্য	Dot-এর আকার দিয়ে shade	Error diffusion দিয়ে shade
দেখতে কেমন	পত্রিকার ক্লাসিক চেহারা	Digital screen-এ smooth

মূল পার্থক্য এক কথায়:

> Halftone = **physical dot placement** (printing-এ) Dithering = **pixel-level noise** (digital display-এ)

Halftoning বৈশিষ্ট্য:

- নিয়মিত, geometric বিন্দুর pattern
- predictable spacing ও arrangement
- printing-এ excellent
- পত্রিকার classic চেহারা

Dithering বৈশিষ্ট্য:

- বেশি randomized, noise-এর মতো pattern
- irregular dot distribution
- digital display-এ ভালো কাজ করে
- visible pattern কম — বেশি smooth দেখায়

🔑 সব গুরুত্বপূর্ণ Terms একসাথে

Term	বাংলা	সহজ মানে
Halftone Pattern	হাফটোন প্যাটার্ন	ছোট-বড় dot দিয়ে shade তৈরি
Binary Output	বাইনারি আউটপুট	শুধু ON বা OFF — কালো বা সাদা
Continuous Tone	ক্রমাগত টোন	smooth shade, যেমন ফটোগ্রাফ
Dithering	ডিদারিং	পাশের pixel মিশিয়ে রঙের ভ্রম তৈরি

Amplitude Modulation	আয়তন পরিবর্তন	dot-এর size পরিবর্তন হয়
Frequency Modulation	ঘনত্ব পরিবর্তন	dot-এর spacing পরিবর্তন হয়
CMYK	সিএমওয়াইকে	Cyan+Magenta+Yellow+Black — রঙিন printing
Gradient	গ্রেডিয়েন্ট	ধীরে ধীরে এক রঙ থেকে অন্য রঙে যাওয়া
Error Diffusion	ত্রুটি বিস্তার	dithering-এর একটা পদ্ধতি
Visual Blending	দৃশ্যমান মিশ্রণ	চোখে আলাদা pixel একসাথে মিলে দেখা
Screen Printing	স্ক্রিন প্রিন্টিং	কাপড়/পোস্টারে ছবি transfer

---

🗺️ পুরো **Lecture** সারসংক্ষেপ

```
সমস্যা: Device-এ সীমিত রঙ বা shade
        │
        ├── Printing-এ → HALFTONE PATTERN
        │       ├── AM: dot-এর size পরিবর্তন
        │       ├── FM: dot-এর spacing পরিবর্তন
        │       └── Hybrid: দুটোই
        │
        └── Digital Display-এ → DITHERING
                └── পাশের pixel মিশিয়ে রঙের ভ্রম তৈরি
```

💡 সহজে মনে রাখার কৌশল

Halftone মনে রাখো**:** পুরোনো পত্রিকার ছবি — কাছে গেলে বিন্দু দেখা যায়।

Dithering মনে রাখো**:** পুরোনো **8-bit** গেম (যেমন Mario) — কম রঙ দিয়েও smooth দেখায়।