ECS455 Chapter 2

Cellular Systems

Dr.Prapun Suksompong

prapun.com/ecs455

Office Hours:

BKD, 6th floor of Sirindhralai building

Tuesday	**14:20-15:20**
Wednesday	**14:20-15:20**
Friday	**9:15-10:15**

Pre-Cellular System

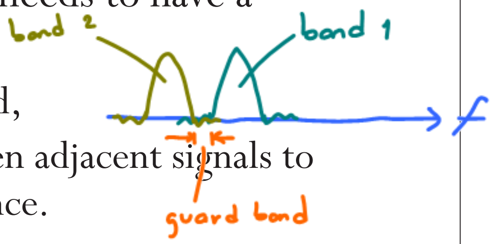
Area over which **reliable** radio communication can occur btw a BS and MSs.

- Achieve a **large coverage area** by using a single, **high powered** transmitter.
  - Put BS on top of mountains or tall towers
- Next BS was so **far away** that interference was not an issue.
- Severely limit the number of users that could communicate simultaneously.
- Noise-limited system with few users.
- Bell mobile system in New York City in the 1970s could only support a maximum of twelve simultaneous calls over a thousand square miles.

(1 [mi^2] ≈ 2.56 [$(km)^2$])

Pre-Cellular System: Examples

- Using a typical analog system, each channel needs to have a bandwidth of around **25 kHz**
  - to enable sufficient audio quality to be carried,
  - as well as allowing for a **guard band** between adjacent signals to ensure there are no undue levels of interference.



- Can accommodate only **40 users** in a frequency "chunk" of 1-MHz wide.
- Even if **100 MHz** were allocated to the system, this would enable only **4000 users** to have access to the system.
- Today cellular systems have millions of subscribers, and therefore a far more efficient method of using the available spectrum is needed.

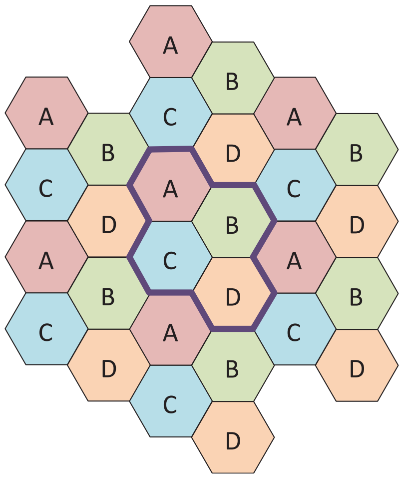
Pre-Cellular System

- Regions need to be well-separated!

ECS455 Chapter 2

Cellular Systems

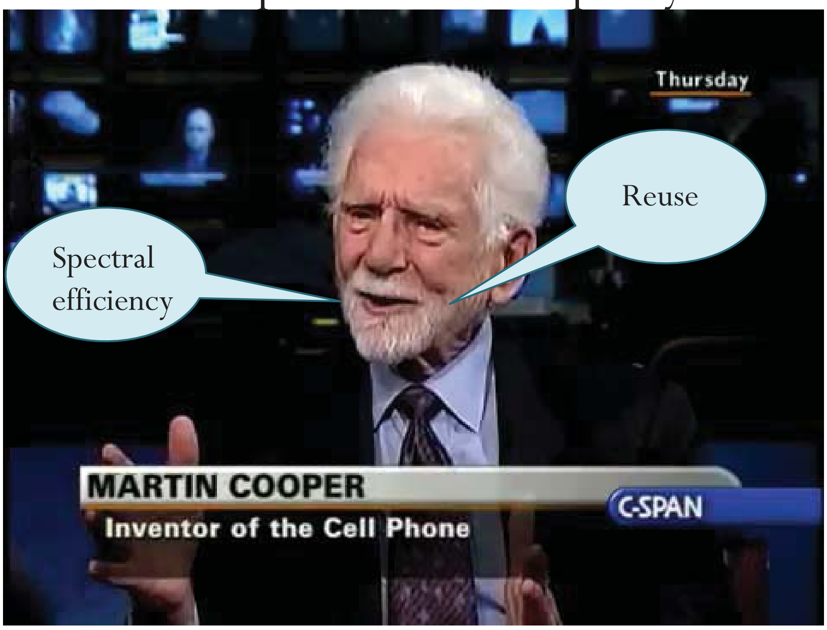
2.1 Frequency Reuse



Dr.Prapun Suksompong
prapun.com/ecs455

First, let's hear it in his own words…

- "The whole concept of cellular telephony…"



["The Communicators", Saturday, March 6, 2010]

[https://www.youtube.com/watch?v=1CZ4oLw58ek]

Cellular systems

- The coverage area is divided into many small areas (**cells**).
- Replace
  - a single, high power transmitter

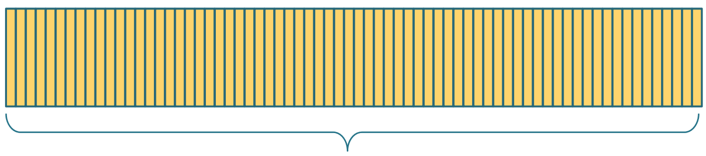
  with
  - **many low-power** transmitters each providing **coverage** to only one cell area (a small portion of the service area).
    - Power is lowered from hundreds of watts to a few watts, or even less than one watt per channel. [Klemens, 2010]

→ Area over which **reliable** radio communication can occur btw a BS and MSs.

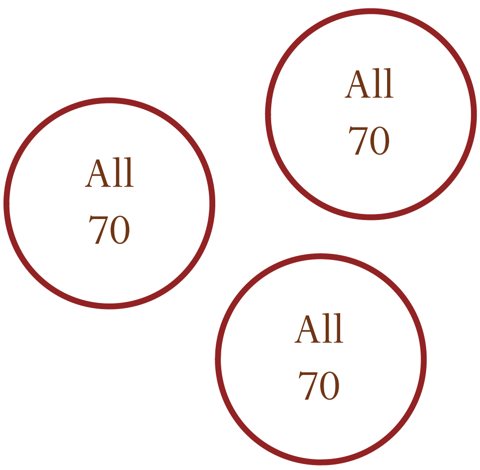
- **Frequency**/Channel **Reuse**: Divide the available channels (frequency bands) into groups/sets. Different channel sets are assigned to different cells. The same channel sets may be **reused** at **spatially separated** locations.

  Set A, Set B, Set C, ...
- **Co-channel** cells = Cells that are assigned the same channel set

Idea (1)



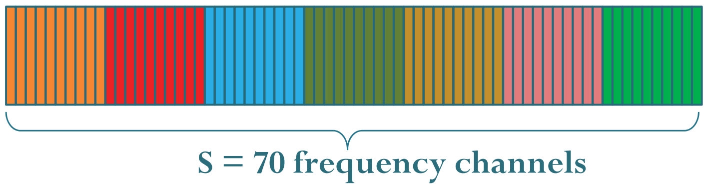
- Suppose the whole system has **S = 70 frequency channels**
- Pre-cellular:



For example,
chunk width = 2.1 MHz
= 2100 kHz
30 kHz per channel
$\frac{2100}{30}$ = 70 channels

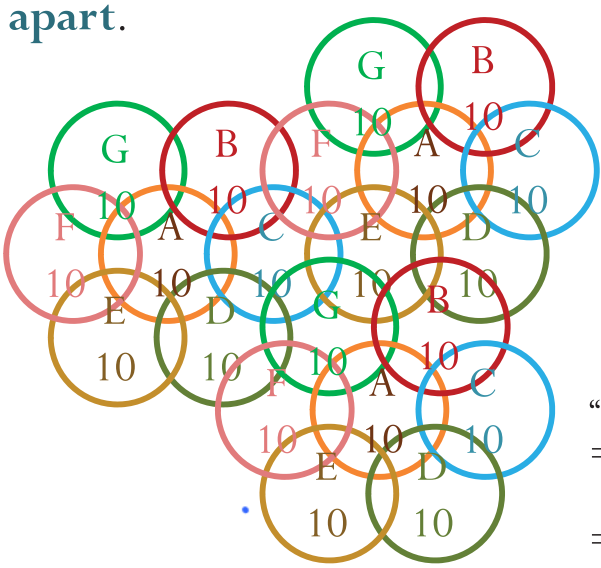
"Capacity" of the system
= # users the system can support simultaneously
= 70×3 = 210

Idea (2)



- Cellular:
  - Split 70 channels into 7 groups (A,B,C,D,E,F,G).
  - Each group has m = 10 channels. Cells using the same groups are **far apart**.

Less interference (Recall that P_r is inversely proportional to d^{γ}.)



Note:
Cells can overlap.

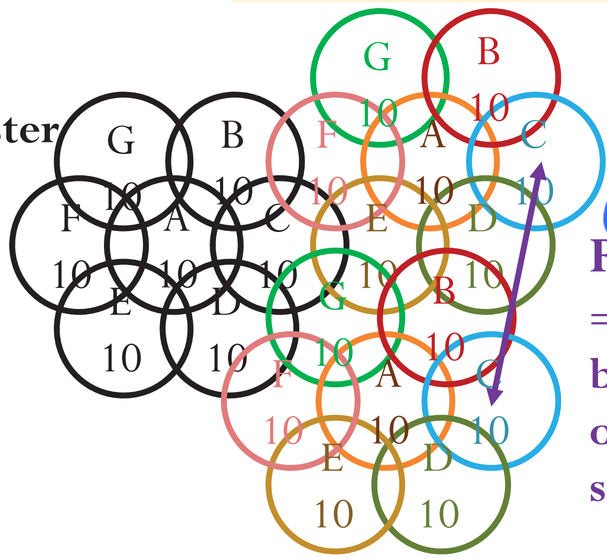
"Capacity" of the system
= # users the system can support simultaneously
= 70×3 = 210

Idea (3)

- Some Terminology:

A **cluster** is a grouping of cells in which each cell uses different frequencies.
A cell's frequencies may be reused by other cells in the system, but those cells will be in other clusters and therefore sufficiently far away not to cause interference.
[Klemens, 2010, p 59]

Cluster

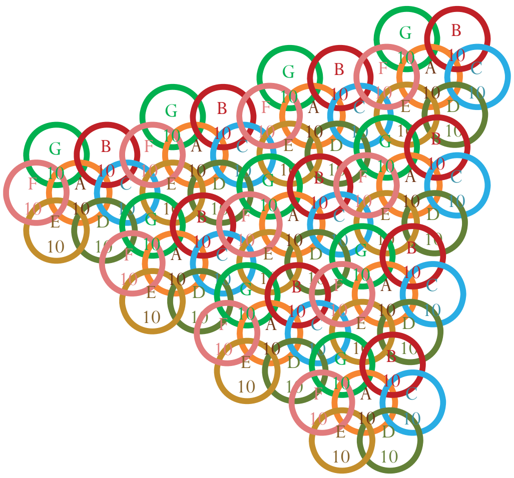


Reuse Distance (D)
= minimum distance between the centers of cells that use the same channel set

Cluster size
N = 7

Idea (4)

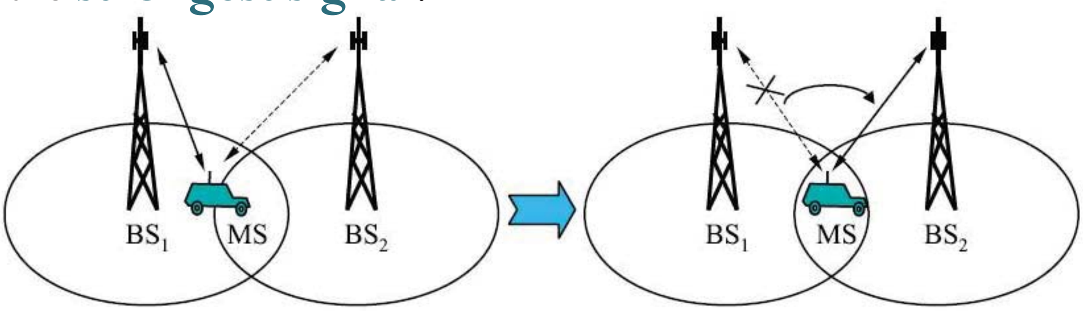
- To support more users (increase capacity), simply use smaller cell size (area).



"Capacity" of the system
= # users the system can support simultaneously
>> 210

Cellular systems: Handoff

- Sophisticated **switching** technique
- Enable a call to proceed **uninterrupted** when the user moves from **one cell to another**.
- The system can switch moving users between towers to find the **strongest signal**.



a. Before handoff

b. After handoff

[http://rathishnair.com/techblog/cell-handoff-basics/]

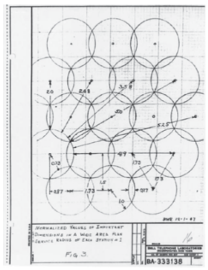
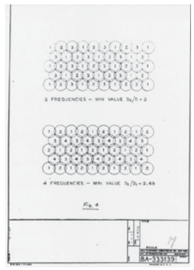
Can we keep reducing the cell size?

- While smaller cells generally increase capacity, they also have their disadvantages.
- Smaller cell size increases the rate at which **handoffs** occur, which increases the dropping probability if the percentage of failed handoffs stays the same.
- Smaller cells increase the **load** on the backbone network.
- More cells per unit area requires more base stations, which can increase system **cost**.
- **Propagation** characteristics typically change as cell size shrinks, so the system does not scale perfectly.

[Goldsmith, 2005, p. 471]

Cellular systems: History

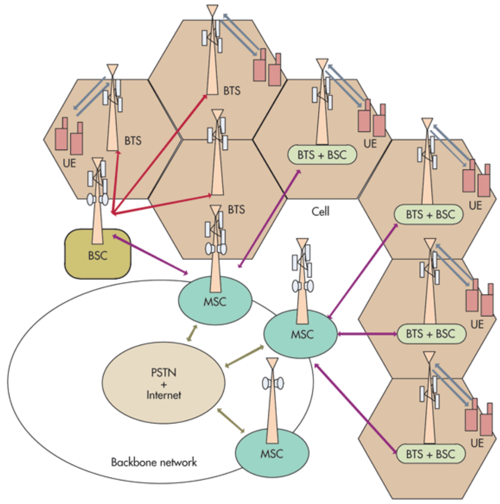
- The concept of cells was first proposed (in an unpublished work) as early as **1947** by Douglas H. Ring at **Bell Lab**oratories in the US

- Detailed proposal for a "High-Capacity Mobile Telephone System" incorporating the cellular concept submitted by Bell Laboratories to the FCC in 1971.
- The first commercial **AMPS** system was deployed in Chicago in **1983**.

Basic cellular system

1. **Mobile stations (MS)** or **user equipment (UE)** or cellular telephones
2. **Base stations (BS)** or **cell sites**
   - Serve as a bridge between all mobile users in the cell and connects the simultaneous mobile calls to the MSC.
   - Generally have towers which support several transmitting and receiving antennas.
     - Simultaneously handle full duplex communications.

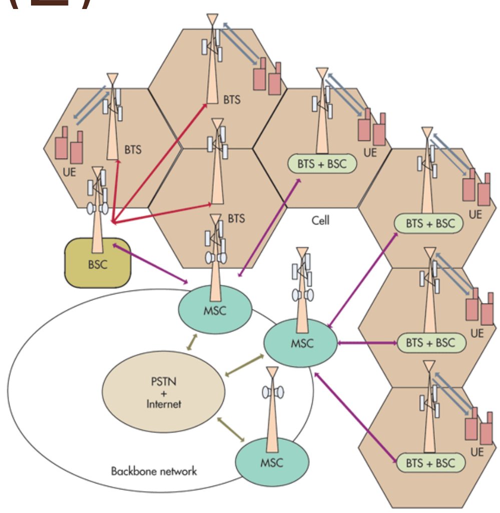


[http://mwrf.com/systems/qam-rising-1024qam-and-beyond]

- Each mobile communicates via radio with one of the base stations and may be handed-off to any number of base stations throughout the duration of a call.

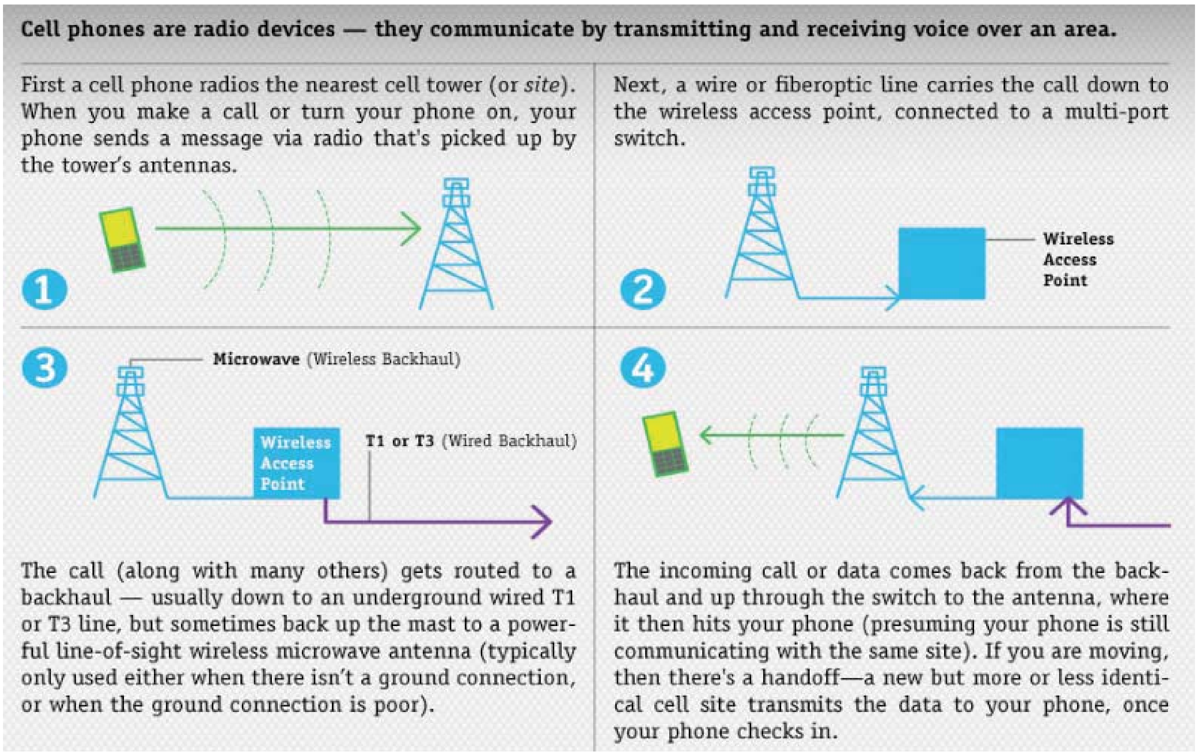
Basic cellular system (2)

3. **Mobile switching center** (**MSC**)
   - Sometimes called a **mobile telephone switching office (MTSO)**
   - **Coordinates** the activities of all of the base stations
     - Coordinating which BS will **handle** a call to or from a user and when to **handoff** a user from one base-station to another.
   - **Connect** the entire cellular system to the **PSTN** (public switched telephone network) for landline calls and Internet access.



[http://mwrf.com/systems/qam-rising-1024qam-and-beyond]

How a Cell Phone Call Works



[http://cellphones.org/blog/how-cell-phone-calls-work/]

Common Air Interface (CAI)

- Standard for communication between BS and MSs

1. **Voice channels**
   - **Forward voice channels (FVC)** : voice transmission from BS to MSs
   - **Reverse voice channels (RVC)**: voice transmission from MSs to BS
2. **Control channels**
   - Often called **setup channels**
   - **Forward control channels (FCC)** and **reverse control channels (RCC)**
   - Involve in setting up a call and moving it to an unused voice channel.
   - Transmit and receive data messages that carry call initiation and service requests
   - Monitored by mobiles when they do not have a call in progress.

- Typically, 5% control channels and 95% voice channels.

Frequency Reuse (Review)

Definition

"The use of radio channels on the **same carrier frequency** to cover **different areas** which are separated from one another by sufficient distances so that **co-channel interference** is not objectionable."

[Mac Donald, 1979, p 16]

- Employed not only in mobile-telephone service but ***also in entertainment broadcasting*** and many other radio services.

(โทรทัศน์ภาคพื้นดิน)

Terrestrial TV in BKK

ความถี่สัญญาณโทรทัศน์ VHF.(Low Band)			
Channel.	Bandwidth.	Picture Carrier.	Audio Carrier.
2	47 - 54	48.25	53.75
3	54 - 61	55.25	60.75
4	61 - 68	62.25	67.75

ความถี่สัญญาณโทรทัศน์ VHF.(Hight Band)			
Channel.	Bandwidth.	Picture Carrier.	Audio Carrier.
5	174 - 181	175.25	180.75
6	181 - 188	182.25	187.75
7	188 - 195	189.25	194.75
8	195 - 202	196.25	201.75
9	202 - 209	203.25	208.75
10	209 - 216	210.25	215.75
11	216 - 223	217.25	222.75
12	223 - 230	224.25	229.75

ความถี่สัญญาณโทรทัศน์ UHF.(Band 4)				
Channel.	Bandwidth.	Picture Carrier.	Audio Carrier.	
26	510 - 518	511.25	516.75	MUX 1
27	518 - 526	519.25	524.75	
28	526 - 534	527.25	532.75	
29	534 - 542	535.25	540.75	
30	542 - 550	543.25	548.75	
31	550 - 558	551.25	556.75	
32	558 - 566	559.25	564.75	
33	566 - 574	567.25	562.75	
34	574 - 582	575.25	580.75	

	ความถี่สัญญาณโทรทัศน์ UHF.(Band 5)			
	Channel.	Bandwidth.	Picture Carrier.	Audio Carrier.
	35	582 - 590	583.25	588.75
MUX 2	36	590 - 598	591.25	596.75
	37	598 - 606	599.25	604.75
	38	606 - 614	607.25	612.75
	39	614 - 622	615.25	620.75
MUX 3	40	622 - 630	623.25	628.75
	41	630 - 638	631.25	636.75
	42	638 - 646	639.25	644.75
	43	646 - 654	647.25	652.75
MUX 4	44	654 - 662	655.25	660.75
	45	662 - 670	663.25	668.75
	46	670 - 678	671.25	676.75
	47	678 - 686	679.25	684.75
	48	686 - 694	687.25	692.75
	49	694 - 702	695.25	700.75
	50	702 - 710	703.25	708.75
	51	710 - 718	711.25	716.75
MUX 5	52	718 - 726	719.25	724.75
	53	726 - 734	727.25	732.75
	54	734 - 742	735.25	740.75
	55	742 - 750	743.25	748.75
	56	750 - 758	751.25	756.75
	57	758 - 766	759.25	764.75
	58	766 - 774	767.25	772.75
	59	774 - 782	775.25	780.75
	60	782 - 790	783.25	788.75

Digital Terrestrial TV: MUX

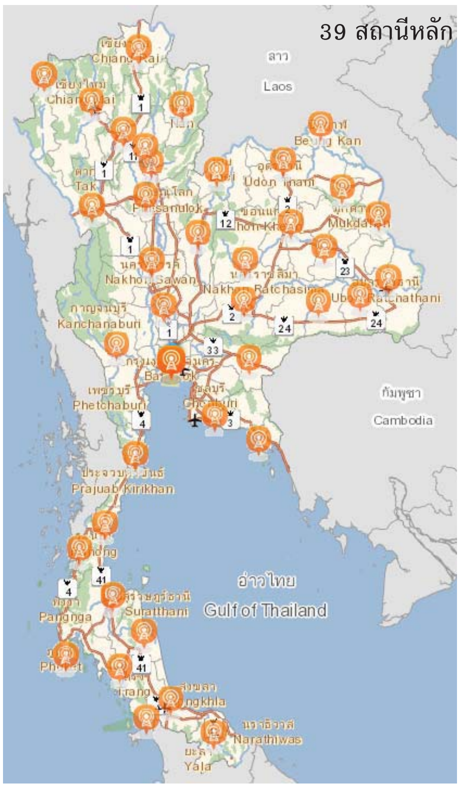
“มัลติเพล็กซ์” หมายความว่า โครงข่ายตามกฎหมายฯ ที่รวบรวมบริการกระจายเสียงหรือโทรทัศน์ หรือบริการสัญญาณอื่นใดที่จำเป็น เพื่อส่งหรือถ่ายทอดผ่านช่องสัญญาณเดียวพร้อมกัน

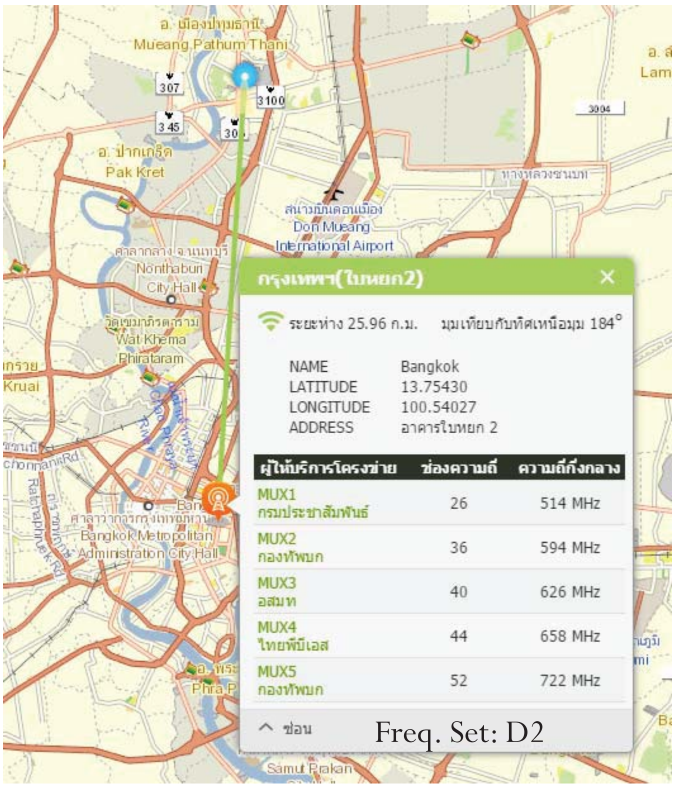
บริการสาธารณะ	1 HD	2 HD	3 HD				
เด็ก เยาวชนและครอบครัว	13	14 (MCOT Kiddie)	15				
ข่าวสารและสาระ	16	17	18	19	20	21	22
ทั่วไป ความคมชัดปกติ	23	24	25	26	27	28	29
ทั่วไป ความคมชัดสูง	30 HD	31 HD	32 HD	33 HD	34 HD	35 HD	36 HD

ผู้ให้บริการโครงข่าย
- PRD (กรมประชาสัมพันธ์ โดยสถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทย)
- TV5 Mux2
- MCOT
- TPBS (องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย โดยโทรทัศน์ไทยพีบีเอส)
- TV5 Mux5

@Johnnatadee

สถานีวิทยุคมนาคมสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล





แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล: การจัดกลุ่มช่องความถี่

หน้า ๔๖
เล่ม ๑๒๙ ตอนพิเศษ ๑๘๙ ง ราชกิจจานุเบกษา ๑๘ ธันวาคม ๒๕๕๕

ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์
และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
เรื่อง แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล

กลุ่มช่องความถี่วิทยุ	จำนวนช่องความถี่	หมายเลขช่องความถี่วิทยุ															
		N-3	N	N+3	N+4	N+6	N+7	N+8	N+11	N+12	N+15	N+16	N+18	N+19	N+20	N+23	N+24
D1	7	-	28	31	-	-	35	-	39	-	43	-	-	47	-	51	-
D2	7	26	29	32	-	-	36	-	40	-	44	-	-	48	-	-	-
D3	7	27	30	33	-	-	37	-	41	-	45	-	-	49	-	-	-
D4	7	-	34	-	38	-	-	42	-	46	-	50	-	-	54	57	-
D5	3	-	52	55	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	3	-	53	56	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-D1	7	-	26	-	30	-	-	34	-	38	-	42	-	-	46	-	50
T-D2	7	-	28	-	32	-	-	36	-	40	-	44	-	-	48	-	52

<u>หมายเหตุ</u> กลุ่มช่องความถี่วิทยุ T-D1 และ T-D2 เป็นการจัดกลุ่มช่องความถี่สำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอลบริเวณชายแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย

[กสทช. ผว.102-2555]

แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล

No.	Name	G	#1	#2	#3	#4	#5
1.0	กรุงเทพ	D2	26	36	40	44	48
1.1	ท่าตะเกียบ	D1	28	31	35	39	43
1.2	พัทยา	D3	27	30	33	37	41
1.3	หนองใหญ่ ชลบุรี	D4	34	38	42	46	50
1.4	นครนายก	D1	28	31	35	39	43
1.5	สมุทรสงคราม	D2	26	36	40	44	48
1.6	พระนครศรีอยุธยา	D2	26	36	40	44	48
2.0	กาญจนบุรี	D3	27	30	41	45	49
2.1	ทองผาภูมิ	D2	32	36	40	26	29
2.2	ศรีสวัสดิ์	D3	33	37	41	27	30
2.3	สังขละบุรี	D1	35	39	43	28	31
2.4	ราชบุรี	D3	33	37	41	27	30
2.5	จอมบึง	D2	26	36	40	44	41
2.6	โพธาราม	D3	33	37	41	27	30
3.0	สิงห์บุรี	D1	47	51	35	39	43
3.1	สุพรรณบุรี	D1	47	51	35	39	43
3.2	ด่านช้าง	D2	29	32	36	40	26
3.3	มวกเหล็ก	D1	47	51	35	39	43
3.4	ชัย บาดาล	D1	47	51	35	39	43
3.5	ชัยนาท	D1	47	51	35	39	43
4.0	ระยอง	D1	47	31	35	39	43
4.1	โป่งน้ำร้อน	D2	40	26	29	32	36
4.2	แก่งหางแมว	D3	41	27	30	33	37
4.3	มะขาม	D4	50	34	38	42	46
4.4	จันทรบุรี	D1	47	31	35	39	43

5.0	สระแก้ว	D4	38	42	46	54	57
5.1	ปราจีนบุรี	D4	38	42	46	54	57
5.2	ตาพระยา	D4	38	42	46	54	57
6.0	ตราด	D3	33	37	41	45	30
6.1	คลองใหญ่	D3	33	37	41	45	30
7.0	ประจวบคีรีขันธ์	D4	46	50	54	38	42
7.1	หัวหิน	D4	46	50	54	38	42
7.2	บางสะพานน้อย	D4	46	50	54	38	42
7.3	ทับสะแก	D4	46	50	54	38	42
7.4	เพชรบุรี	D4	46	50	54	38	42
7.5	แก่งกระจาน	D4	46	50	54	38	42
8.0	นครราชสีมา	D3	45	49	30	33	37
8.1	ชมพวง(ประทาย)	D4	50	54	42	46	48
8.2	เขายายเที่ยง	D3	45	49	30	33	37
8.3	เสิงสาง	D3	45	49	30	33	37
8.4	บัวใหญ่	D3	45	49	30	33	37
9.0	ชยภูมิ	D1	51	35	39	43	47
9.1	หนองบัวแดง	D1	51	35	39	43	47
10.0	สุรินทร์	D2	26	32	36	40	44
10.1	บุรีรัมย์	D2	26	32	36	40	44
10.2	ปะคำ / โนนดินแดง	D1	28	31	35	39	43
11.0	ศรีสะเกษ	D4	42	46	50	54	38
11.1	กัณทรลักษณ์	D4	29	32	36	54	26
12.0	อุบลราชธานี	D3+D5	45	48	52	37	41
12.1	ยโสธร	D3+D5	45	48	52	37	41
12.2	ฆ้ายืน	D1	39	43	28	31	35
12.3	บุณฑริก	D2	36	40	26	29	32
12.4	โพธิไทร	D2	36	40	26	29	32
13.0	มุกดาหาร	D2	48	26	36	40	44
13.1	ภูหินขัน (มุกดาหาร)	D2	48	26	36	40	44
14.0	ร้อยเอ็ด	D1+D5	35	39	47	51	55
15.0	ขอนแก่น	D2	36	40	44	48	32
15.1	ชมแพ	D4	46	48	50	54	42
15.2	ภูสิงห์ กาฬสินธุ์	D2	36	40	44	48	32
15.3	พล ขอนแก่น	D2	36	40	44	48	32
15.4	กาฬสินธุ์	D2	36	40	44	48	32
16.0	เลย	D4	46	54	57	38	42
16.1	ปากชม	D3	33	37	41	27	30
16.2	ภูกระดึง	D1	43	47	51	35	39
16.3	นาแห้ว	D3	33	37	41	27	30
17.0	อุดรธานี	D1	47	51	35	39	43
17.1	หนองบัวลำภู	D1	47	51	35	39	43
17.2	กุมภวาปี /ศรีธาตุ	D1	47	51	35	39	43
17.3	รัตนวาปี	D1	47	51	35	39	43
17.4	บ้านดุง	D1	47	51	35	39	43
18.0	บึงกาฬ	D2	48	32	36	40	44
19.0	สกลนคร	D3	30	33	41	45	49
19.1	นครพนม	D3	30	33	41	45	49
20.0	เชียงใหม่	D4	42	50	54	57	38
20.1	ไชยปราการ / ฝาง	D2	36	40	44	48	32
20.2	สะเมิง	D3	30	33	37	41	27
20.3	ดอยอินนทนนท์ / แม่แจ่ม	D2	29	32	36	40	26
20.4	ดอยเต่า	D1	31	35	39	43	28
20.5	อมก๋อย	D3	30	33	37	41	27
20.6	พร้าว	D3	30	33	37	41	27
20.7	เวียงแหง	D1	31	35	39	43	28
21.0	แม่ฮ่องสอน (ดอยกองมู)	D3	37	41	45	30	33
21.1	แม่ฮ่องสอน (ห้วยนางปู๋)	D3	37	41	45	30	33
21.2	แม่สะเรียง	D4	50	54	57	34	38
21.3	ปาย	D4	42	46	54	34	38
21.4	ขุนยวม	D1	35	39	43	28	31
21.5	ปางมะผ้า	D2	32	36	40	26	29
22.0	ลำปาง	D2	44	48	32	36	40
22.1	เถิน	D3	45	49	33	37	41

22.2	วังเหนือ	D2	44	48	32	36	40
22.3	สบปราบ	D2	44	48	32	36	40
23.0	เชียงราย	D3	45	30	33	37	41
23.1	เวียงป่าเป้า	D1	47	31	35	39	43
23.2	เชียงของ	D2	48	32	36	40	44
23.3	พะเยา	D4	38	42	46	50	54
23.4	ปง	D2	26	29	32	36	40
23.5	เชียงม่วน	D3	27	30	33	37	41
24.0	น่าน	D3	33	37	41	45	30
24.1	เชียงกลาง	D3	33	37	41	45	30
24.2	ห้วยโก๋น	D1	31	35	39	43	28
24.3	บ่อเกลือ	D2	29	32	36	40	26
24.4	บ้านหลวง	D1	31	35	39	43	28
25.0	แพร่	D4	46	50	54	38	42
25.1	วังชิ้น	D4	46	50	54	38	42
26.0	อุตรดิตถ์	D1	39	43	28	31	35
26.1	ท่าปลา	D1	39	43	28	31	35
26.2	ฟากท่า	D3	41	45	30	33	37
26.3	บ้านโคก	D2	36	40	26	29	32
27.0	สุโขทัย	D3	49	30	33	41	45
27.1	กำแพงเพชร	D3	49	30	33	41	45
27.2	นครไทย	D1	43	28	31	35	39
27.3	ชาติตระการ	D2	40	26	29	32	36
27.4	บ้านร่มเกล้า	D1	43	28	31	35	39
28.0	ตาก	D1	28	31	39	43	47
28.1	แม่สอด	D1	28	31	39	43	47
28.2	ท่าสองยาง	D4	38	42	46	50	54
28.3	อุ้มผาง	D3	30	33	41	45	54
28.4	พบพระ	D4	38	42	46	50	54
29.0	นครสวรรค์	D4	42	46	50	54	38
29.1	วังทรายพูน / พิจิตร	D1	31	35	39	43	28
29.2	ลานสัก	D3	30	33	37	41	27
29.3	ตาคลี	D4	42	46	50	54	38
30.0	เพชรบูรณ์	D2	40	44	48	32	36
30.1	วิเชียรบุรี / ศรีเทพ	D2	40	44	48	32	36
30.2	เขาค้อ	D2	40	44	48	32	36
30.3	หล่มสัก	D2	40	44	48	32	36
31.0	ชุมพร	D1	43	47	31	35	39
31.1	หลังสวน	D1	43	47	31	35	39
32.0	ระนอง	D3	45	30	37	41	45
33.0	สุราษฎร์ธานี	D2	26	36	40	44	48
33.1	เกาะสมุย	D2	26	36	40	44	48
33.2	พนม	D2	26	36	40	44	48
34.0	ภูเก็ต	D1	35	39	43	47	31
34.1	บ้านป่าตอง	D1	35	39	43	47	31
34.2	บางเทา	D1	35	39	43	47	31
34.3	พังงา	D1	39	43	47	31	35
34.4	ตะกั่วป่า	D1	39	43	47	31	35
34.5	กระบี่	D1	43	47	31	35	39
35.0	นครศรีธรรมราช	D3+D6	53	33	37	41	49
35.1	ทุ่งสง	D3+D6	53	33	37	41	49
36.0	ตรัง	T-D1	30	34	38	42	26
37.0	สงขลา	T-D1	30	42	46	50	26
37.1	นาทวี	T-D1	30	42	46	50	26
37.2	สะบ้าย้อย	T-D1	30	42	46	50	26
37.3	ป่าพะยอม	T-D1	30	42	46	50	26
37.4	บ้านประกอบ	T-D1	30	42	46	50	26
37.5	พัทลุง	T-D1	30	42	46	50	26
38.0	สตูล	T-D2	40	48	52	32	36
39.0	ยะลา	T-D2	44	48	28	32	40
39.1	เบตง	T-D2	44	48	28	32	40
39.2	สุไหงปาดี	T-D2	44	48	28	32	40
39.3	นราธิวาส/ยี่งอ	T-D2	44	48	28	32	40
39.4	ยะหริ่ง	T-D2	44	48	28	32	40

[กสทช. ผว.102-2555]

แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิตอล (ฉบับที่ 2): สถานีหลัก

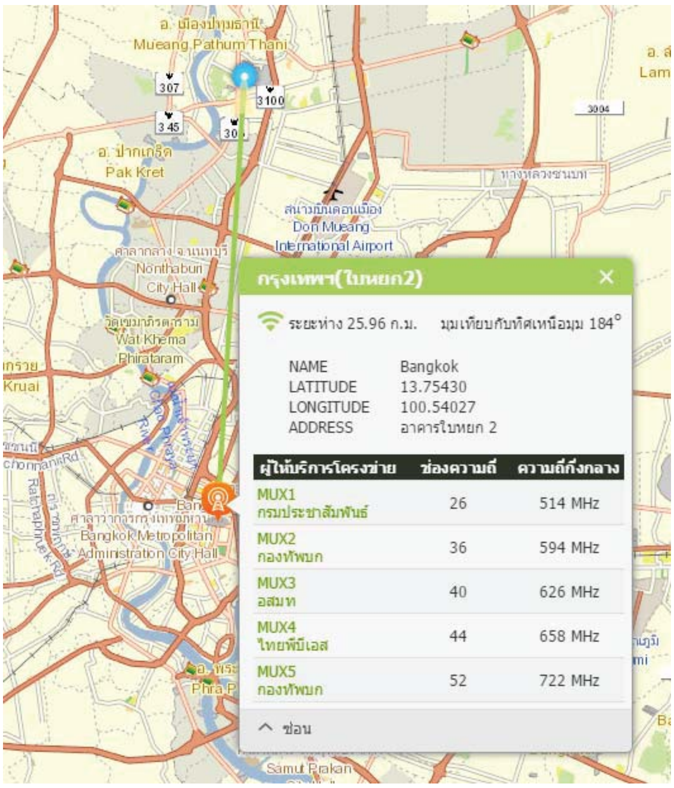
หมายเลขช่องความถี่วิทยุในเครื่องหมายวงเล็บ หมายถึง หมายเลขช่องความถี่วิทยุซึ่งจะนำมาใช้งานเป็นการชั่วคราวก่อนยุติการรับส่งสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ในระบบแอนะล็อก ระหว่างที่หมายเลขช่องความถี่วิทยุข้างหน้าเครื่องหมายวงเล็บยังไม่อนุญาตให้นำมาใช้งาน

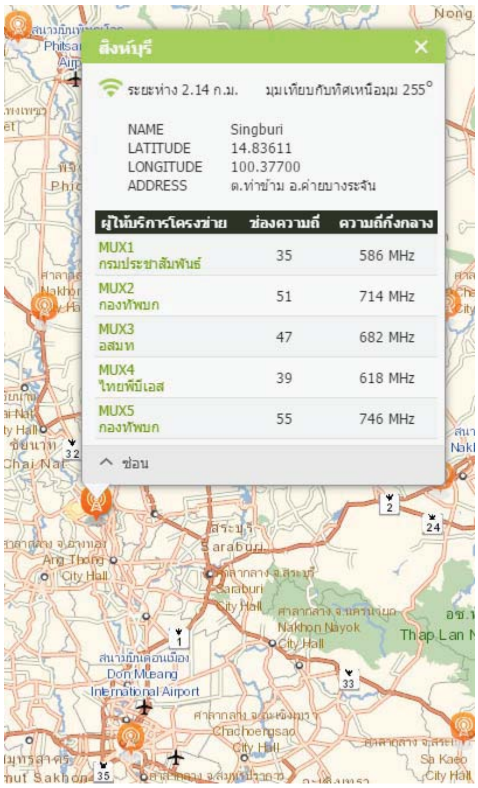
No.	Name	#1	#2	#3	#4	#5	#6
1.0	กรุงเทพมหานคร	26	36	40	44	32(52)	29
2.0	กาญจนบุรี	49	37	41	30	27	33
3.0	สิงห์บุรี	35	51	47	39	31(55)	28
4.0	ระยอง	45	59	53	56	43	48
5.0	สระแก้ว	54	50(42)	46	38	57	34
6.0	ตราด	33	37	41	49	30	27
7.0	ประจวบคีรีขันธ์	46	50	54	57	38	34
8.0	นครราชสีมา	41(58)	49(52)	30	33	37	27
9.0	ชัยภูมิ	31(55)	47	39	35	51	28
10.0	สุรินทร์	26(42)	32	40	36	44	29
11.0	ศรีสะเกษ	41	30(52)	33(58)	27(37)	49	37
12.0	อุบลราชธานี	41	30(52)	33(58)	27(26)	49	52
13.0	มุกดาหาร	47	39	35	28	51	31
14.0	ร้อยเอ็ด	57	50	46	54(60)	34(55)	38
15.0	ขอนแก่น	59	45	53(52)	56	48	43
16.0	เลย	46	50(42)	57	54	38	34
17.0	อุดรธานี	47	35	31(55)	39	51	28
18.0	บึงกาฬ	44	32	36	40	26(52)	29
19.0	สกลนคร	30	49	41	33	37(58)	27
20.0	เชียงใหม่	46(60)	50	54	57	38	34
21.0	แม่ฮ่องสอน (ดอยกองมู)	37	41	49	30	33	27
22.0	ลำปาง	26	44	32	36	40	29
23.0	เชียงราย	49	30	33	37	41	27
24.0	น่าน	28	31	35	39	51	47
25.0	แพร่	45	48	59	56	43	53
26.0	อุตรดิตถ์	41	30	33	37(52)	49	52
27.0	สุโขทัย	41	30	33	37(52)	49	27
28.0	ตาก	31	35	39	51	47	28
29.0	นครสวรรค์	57	46	50	54	38	34
30.0	เพชรบูรณ์	40	44	29	32	36	26
31.0	ชุมพร	51	47	31	35	39	28
32.0	ระนอง	49	30	37	41	33	27
33.0	สุราษฎร์ธานี	26	36	40	44	32	29
34.0	ภูเก็ต	35	39	51	47	31	28
35.0	นครศรีธรรมราช	30	33	37	41	49	27
36.0	ตรัง	43	59	48	53	56	45
37.0	สงขลา	50	42	46	38(54)	26	34
38.0	สตูล	50(52)	42	46(60)	38	26	52
39.0	ยะลา	32	48	36	44	28	40

กรณีตัวเลขหลังจุดทศนิยมเป็น 0 หมายถึง สถานีหลัก

ประกาศ ณ วันที่ ๑๙ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

กรุงเทพฯ VS. สิงห์บุรี





Frequency Reuse (Review)

- Cellular radio systems rely on an intelligent allocation and reuse of channels throughout a coverage region
- Each cellular BS is allocated a **group** of radio channels to be used within the corresponding cell.
- BSs in **adjacent** cells are assigned channel groups which contain completely **different** channels than neighboring cells.
- By limiting the coverage area to within the boundaries of a cell, the same group of channel may be used to cover different cells that are separated from one another by distances large enough to keep interference levels within **tolerable** limits.
- The minimum distance between two cells that use the same channel set is called the **reuse distance**.

[Rappaport, 2002]

Cell Shape

- The actual radio coverage of a cell is known as the **footprint**.
  - Determined from field measurements or propagation prediction models.
- In reality, it is **not possible to define exactly the edge of a cell**.
  - Signal strength gradually reduces, and towards the edge of the cell performance falls.
  - MSs have different levels of sensitivity, this adds a further greying of the edge of the cell.
  - Impossible to have a sharp cut-off between cells.
- In some areas they may overlap, whereas in others there will be a hole in coverage.
- Although the real footprint is amorphous in nature, a **regular** cell shape is needed for systematic system design and adaptation for future growth.

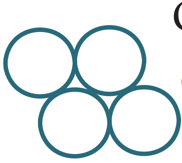
[Rappaport, 2002]

Hexagonal cell shape

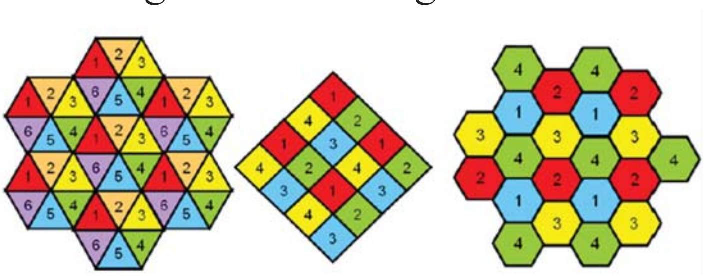
- Simplistic model of the radio coverage for each BS.
- Universally adopted
- Permit easy and manageable analysis

Why hexagon?

- Omnidirectional BS antenna and free space propagation → Circular radiation pattern.



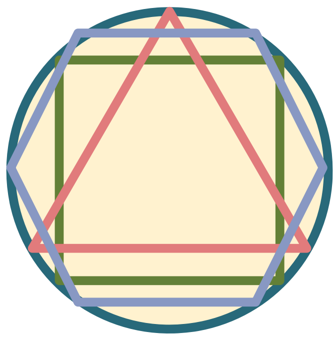
  - Adjacent **circles** cannot be overlaid upon a map without leaving gaps or creating overlapping regions.
- **Tessellating Cell Shapes**: When considering geometric shapes which **cover** an entire region **without overlap** and with equal area, there are three sensible choices: a square, an equilateral triangle, and a hexagon.



Diamond and rectangles are also tessellating shapes.

Why hexagon? (2)

- A cell must be designed to **serve** the **weakest** mobiles within the footprint, and these are typically located at the **edge** of the cell.
  - For a given distance between the center of a polygon and its farthest perimeter points, the hexagon has the **largest area** of the three.
  - By using the hexagon geometry, the **fewest** number of cells can cover a geographic region

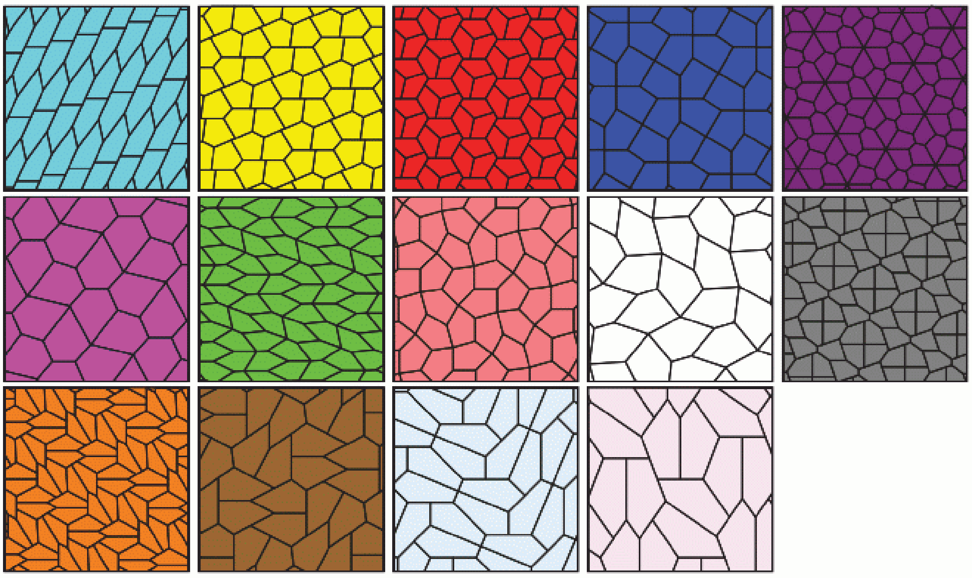


Tessellation (tiling of a plane)

- If you can cover a flat surface using only identical copies of the same shape leaving neither gaps nor overlaps, then that shape is said to **tile the plane**.
- Every triangle can tile the plane.
- Every four-sided (quadrilaterals) shape can also tile the plane.
- The regular pentagon *cannot* tile the plane. (A regular pentagon has equal side lengths and equal angles between sides, like, say, a cross section of okra, or, erm, the Pentagon). But some non-regular pentagons can.
- It was proved in 1963 that there are exactly three types of convex hexagon that tile the plane.
- No convex heptagon, octagon, or anything else-gon tiles the plane.

Since 1985, there are 14 types

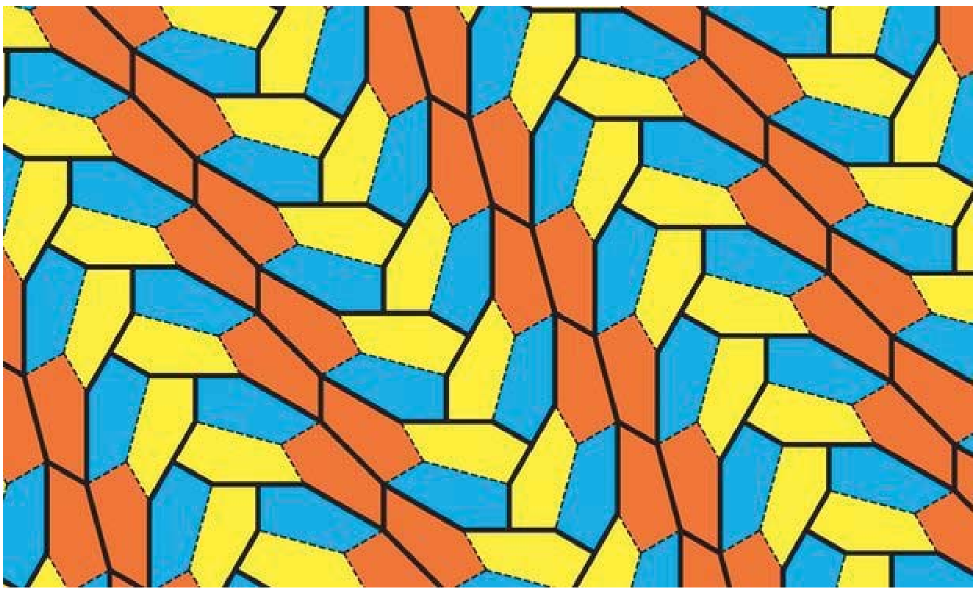
- The hunt to find and classify the pentagons that can tile the plane has been a century-long mathematical quest



[http://www.mathpuzzle.com/tilepent.html]

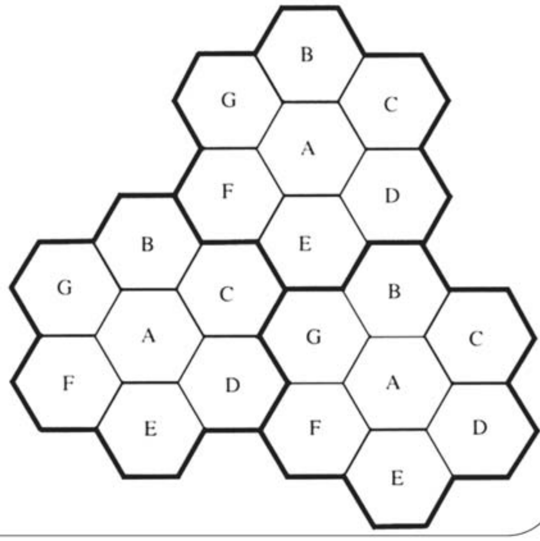
The 15th type is discovered in 2016

- University of Washington Bothell
- The researchers used a computer to exhaustively search through a large but finite set of possibilities



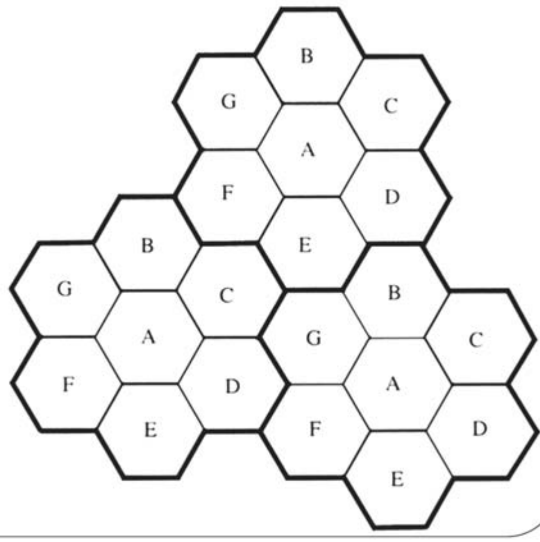
Frequency Reuse Plan

- The **frequency reuse plan** is overlaid upon a map to indicate where different channel sets are used.
- Cells labeled with the same letter use the same group of channels.
  - Create **co-channel interference**



Clusters

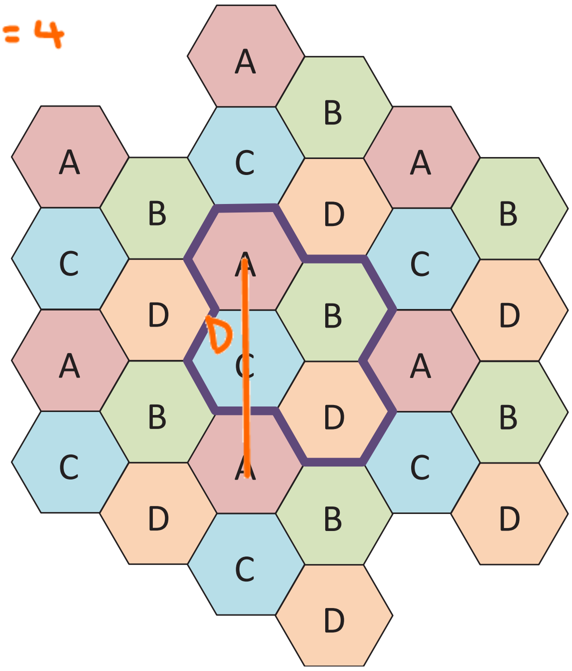
- The total coverage area is divided into **clusters.**
- The number of cells (***N***) in a cluster is called the **cluster size**.
- Cells in a cluster collectively use the **complete set** of available frequencies.
- *No* co-channel interference *within* a cluster.
- **Replicated** over the coverage area.
- Example: The picture shows clusters of size $N = 7$, outlined in bold.



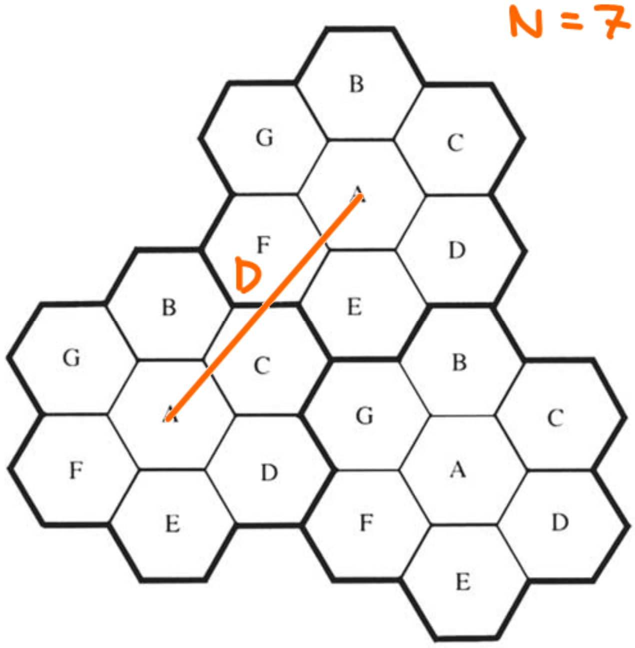
Observation #1: Large N = larger D = less interference.

Frequency Reuse (N = 4, N = 7)

N = 4



N = 7

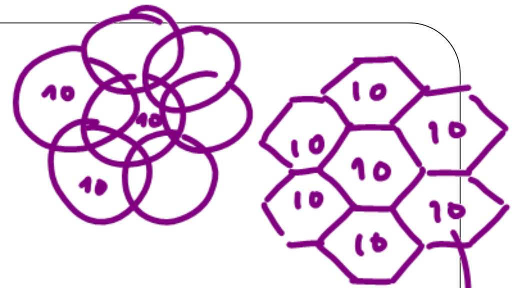


Frequency reuse factor = 1/N

(Each cell within a cluster is only assigned 1/N of the total available channels in the system.)

"Capacity"

70



$\frac{70}{7}$

total # available duplex radio channels for the system

cluster size

$$S = mN$$

(**Frequency reuse factor** = 1/N)

#channels allocated to each cell

Ability to handle simultaneous numbers of calls

→ "**Capacity**" $C = \frac{A_{total}}{A_{cell}} \times m = \frac{A_{total}}{A_{cell}} \times \frac{S}{N}$

total # cells in the system

Observation #2

This formula suggests that if the cluster size N is reduced, more capacity is achieved.*

*Tradeoff: Small value of N may lead to large interference.

Cluster size (N)

- There are only certain cluster sizes and cell layouts which are possible [Mac Donald,1979].
- N can only have values which satisfy

$$N = i^2 + i \times j + j^2$$

where i and j are ***non-negative*** integers.

	Cluster Size (N)
$i = 1, j = 1$	3
$i = 1, j = 2$	7

- **Exercise**: For $N = 4$, what are the values of i and j?

$i = 2, j = 0$

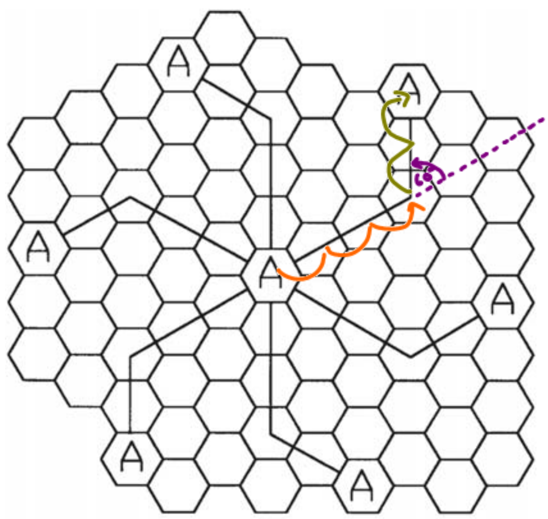
$i = 0, j = 2$

Locating co-channel cells

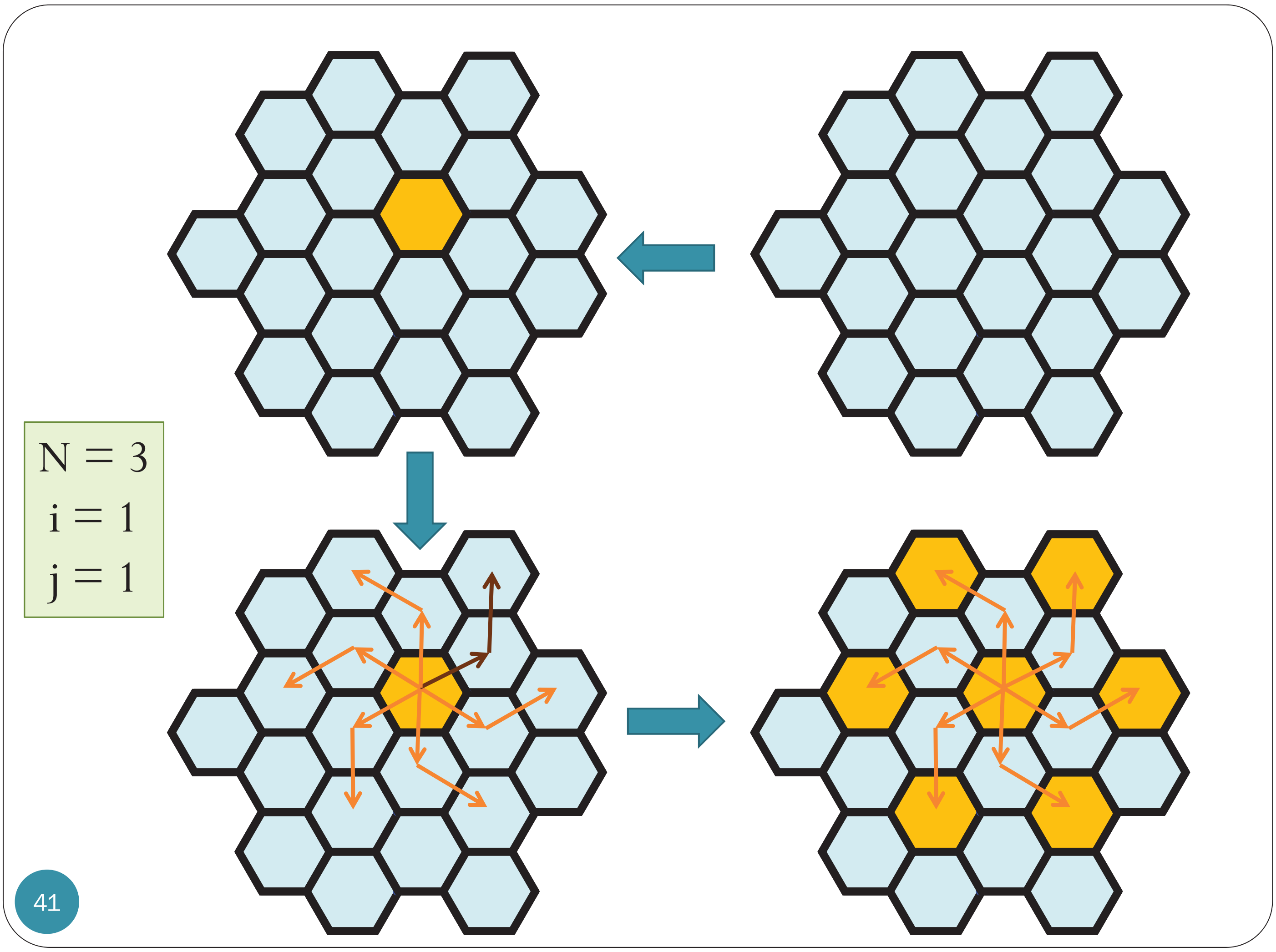
[Rappaport, 2002, p 60]
[Goldsmith, 2005, p 476]

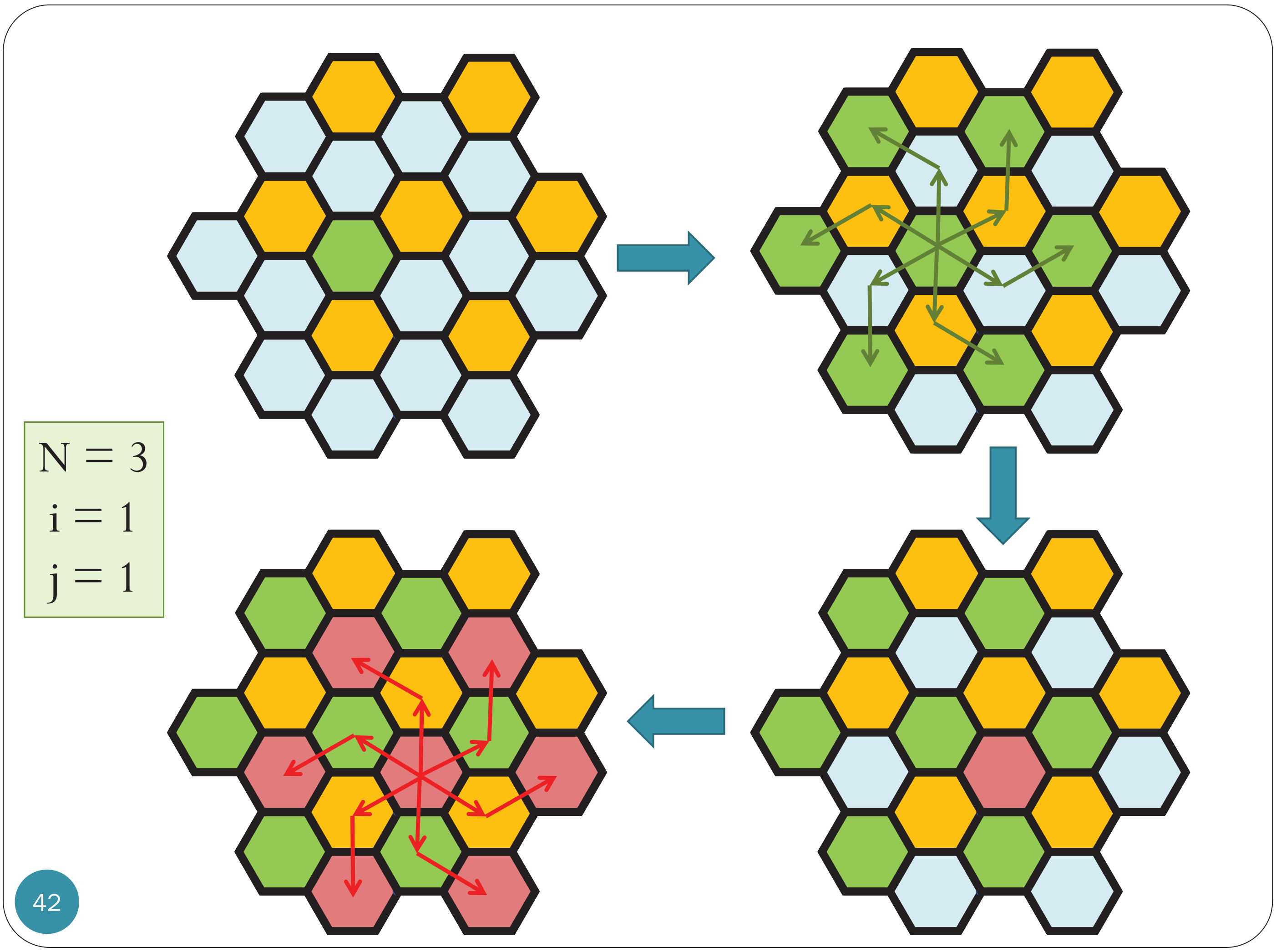
- To locate the **nearest co-channel neighbors** of a particular cell,
  - move i cells along any chain of hexagons and then
  - turn 60 degrees **counter-clockwise** and move j cells.
- Try $N = 19$
  - i = 3
  - j = 2

$$3^2 + 2 \cdot 3 + 2^2 = 9 + 6 + 4 = 19$$



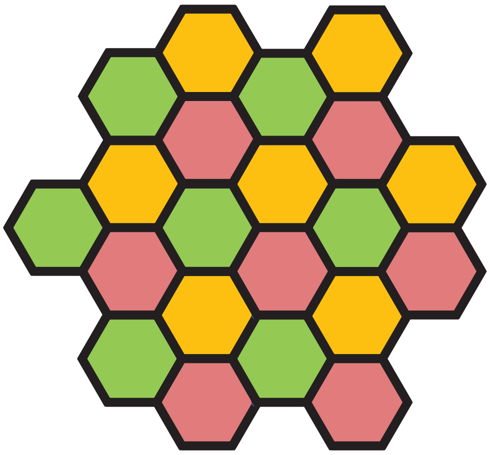
[Rappaport, 2002, Fig. 3.2]
[Goldsmith, 2005, Fig 15.6]


N = 3
i = 1
j = 1
41

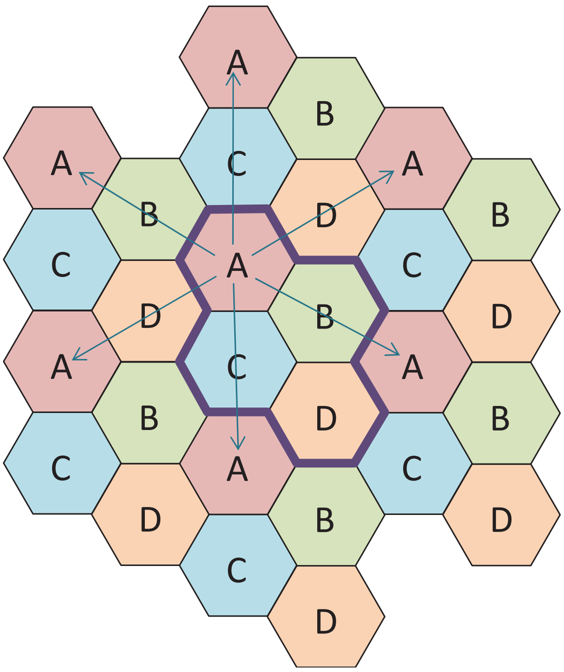

N = 3
i = 1
j = 1
42

Locating co-channel cells (N = 3)

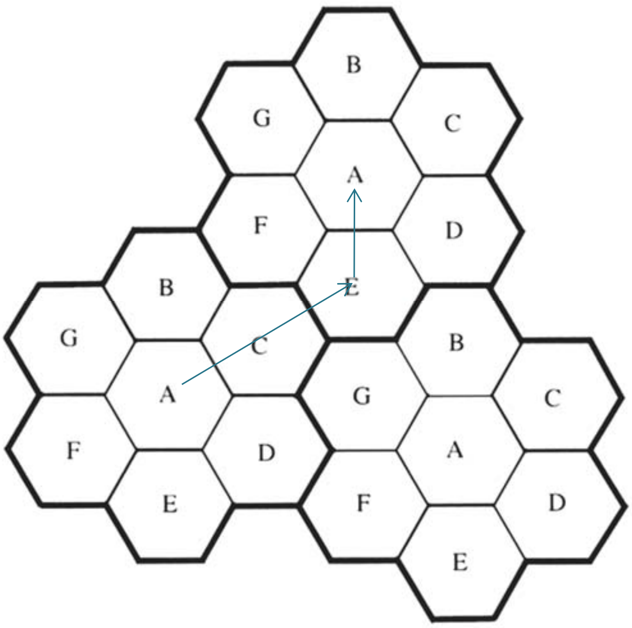
- To locate the nearest co-channel neighbors of a particular cell,
  - move *i* cells along any chain of hexagons and then
  - turn 60 degrees counter-clockwise and move *j* cells.



Locating co-channel cells (N = 4, N = 7)

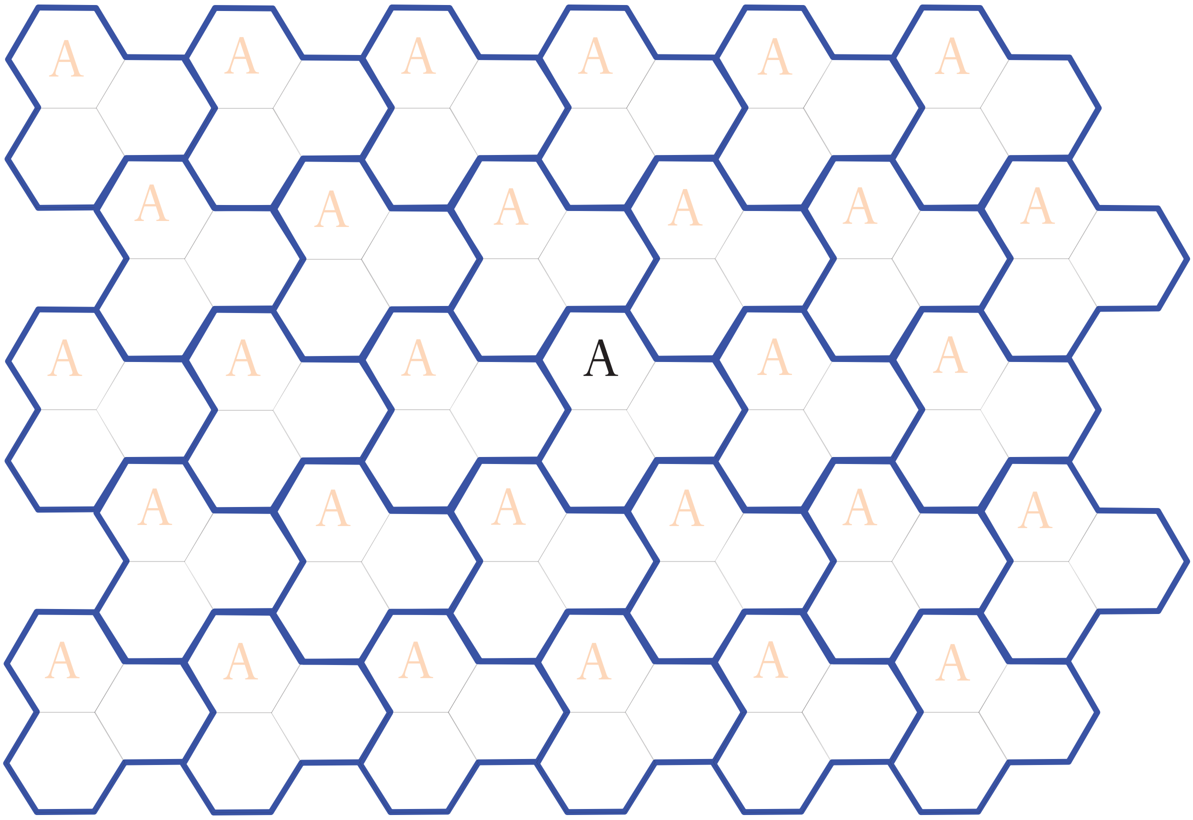


(i = 2, j =0)

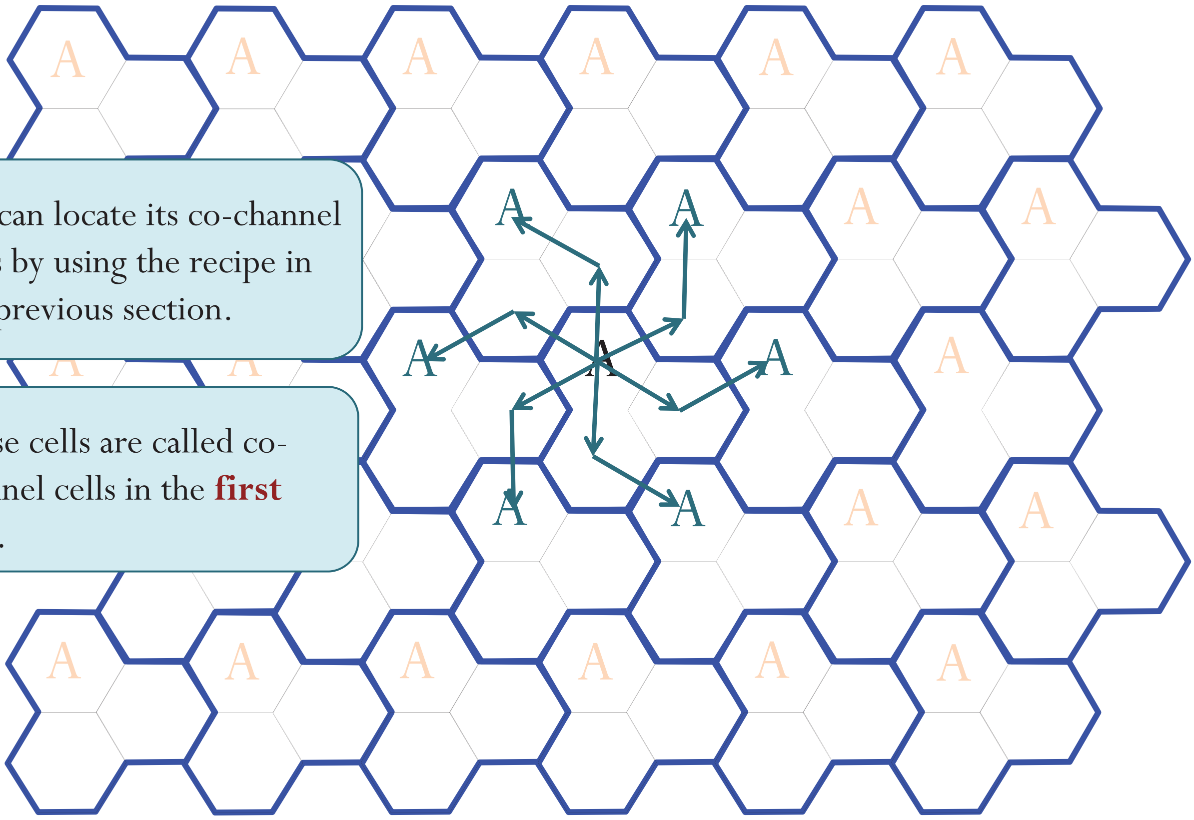


(i = 2, j =1)

Co-Channel Cells: Ex. N = 3



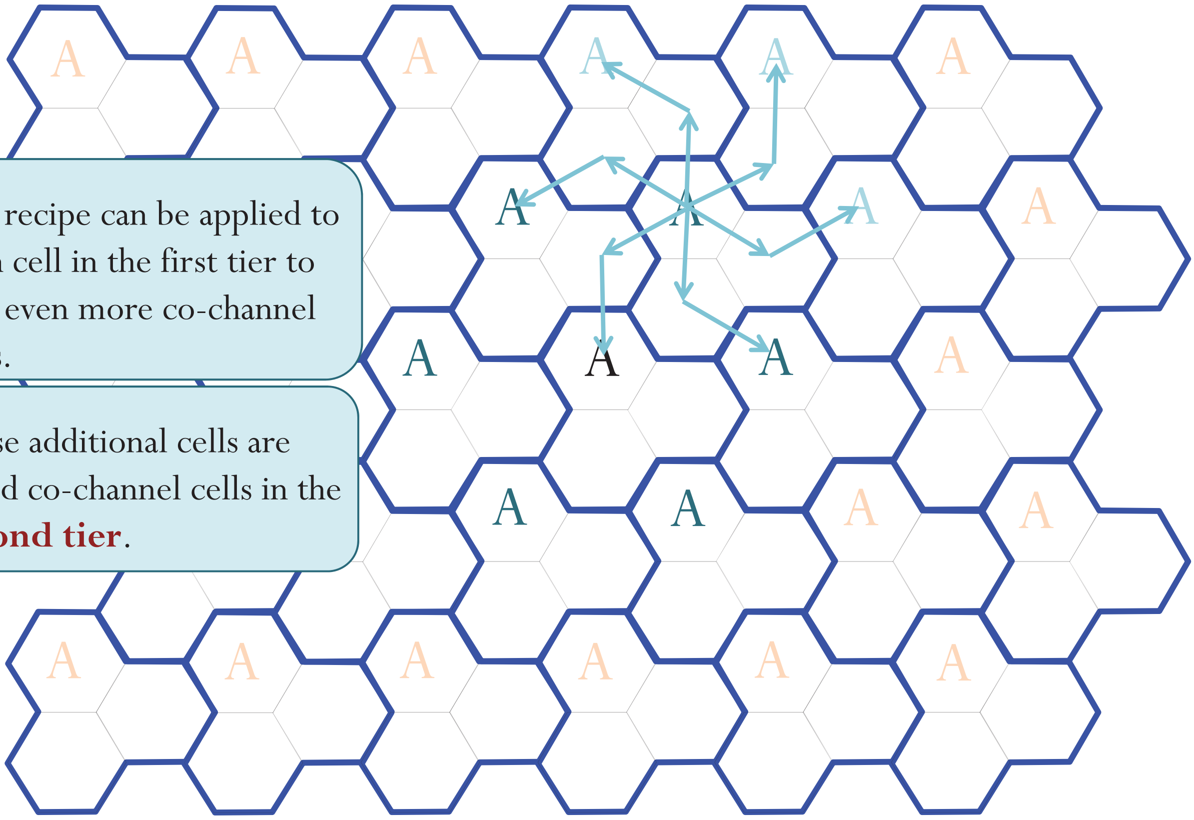
Co-Channel Cells: Ex. N = 3



We can locate its co-channel cells by using the recipe in the previous section.

These cells are called co-channel cells in the **first tier**.

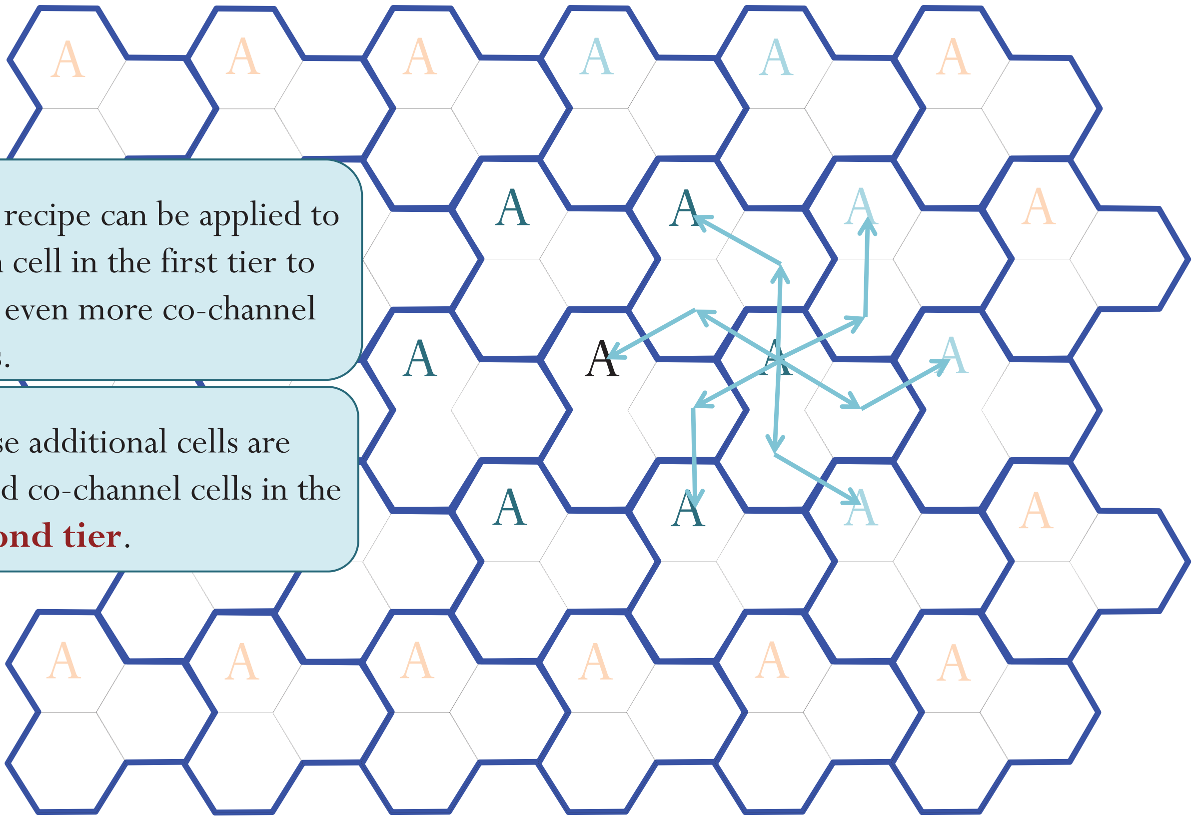
Co-Channel Cells: Ex. N = 3



The recipe can be applied to each cell in the first tier to find even more co-channel cells.

These additional cells are called co-channel cells in the **second tier**.

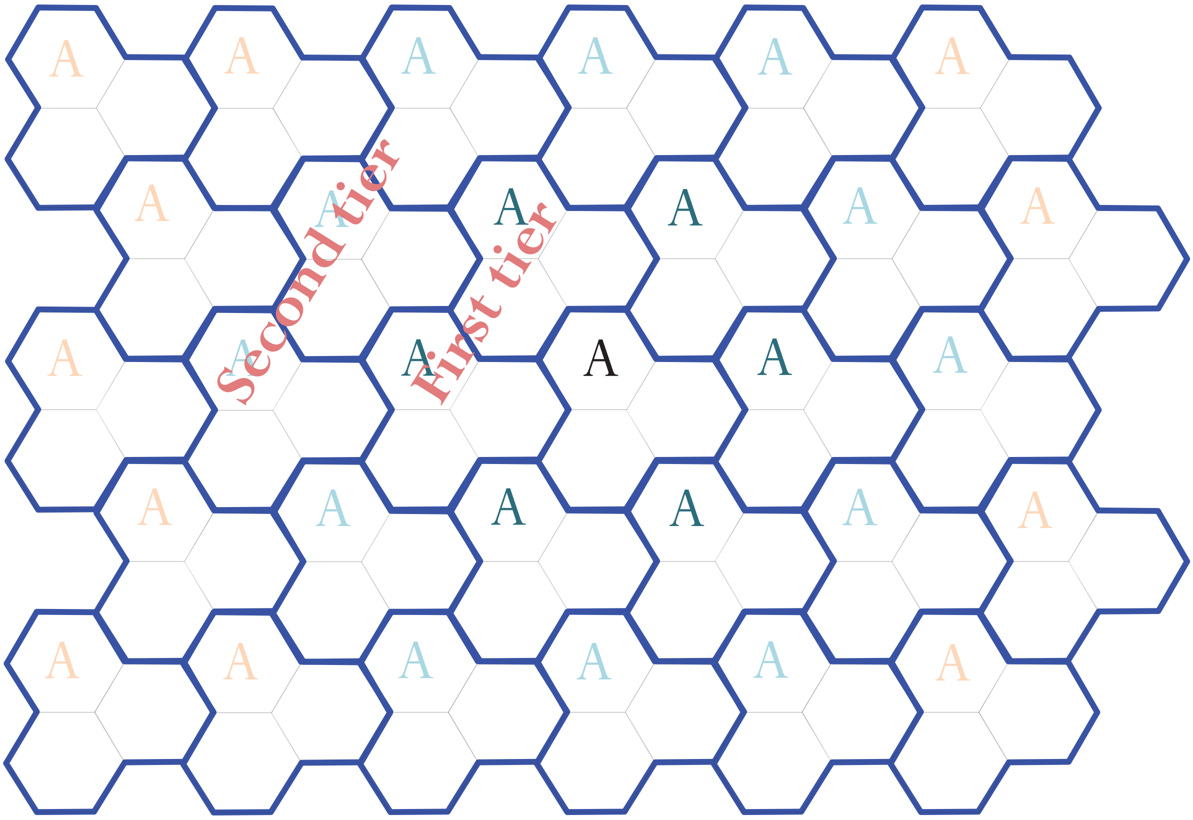
Co-Channel Cells: Ex. N = 3



The recipe can be applied to each cell in the first tier to find even more co-channel cells.

These additional cells are called co-channel cells in the **second tier**.

Co-Channel Cells: Ex. N = 3



Co-Channel Cells: Ex. N = 3