



## فصل چهارم: ناحیه RAN

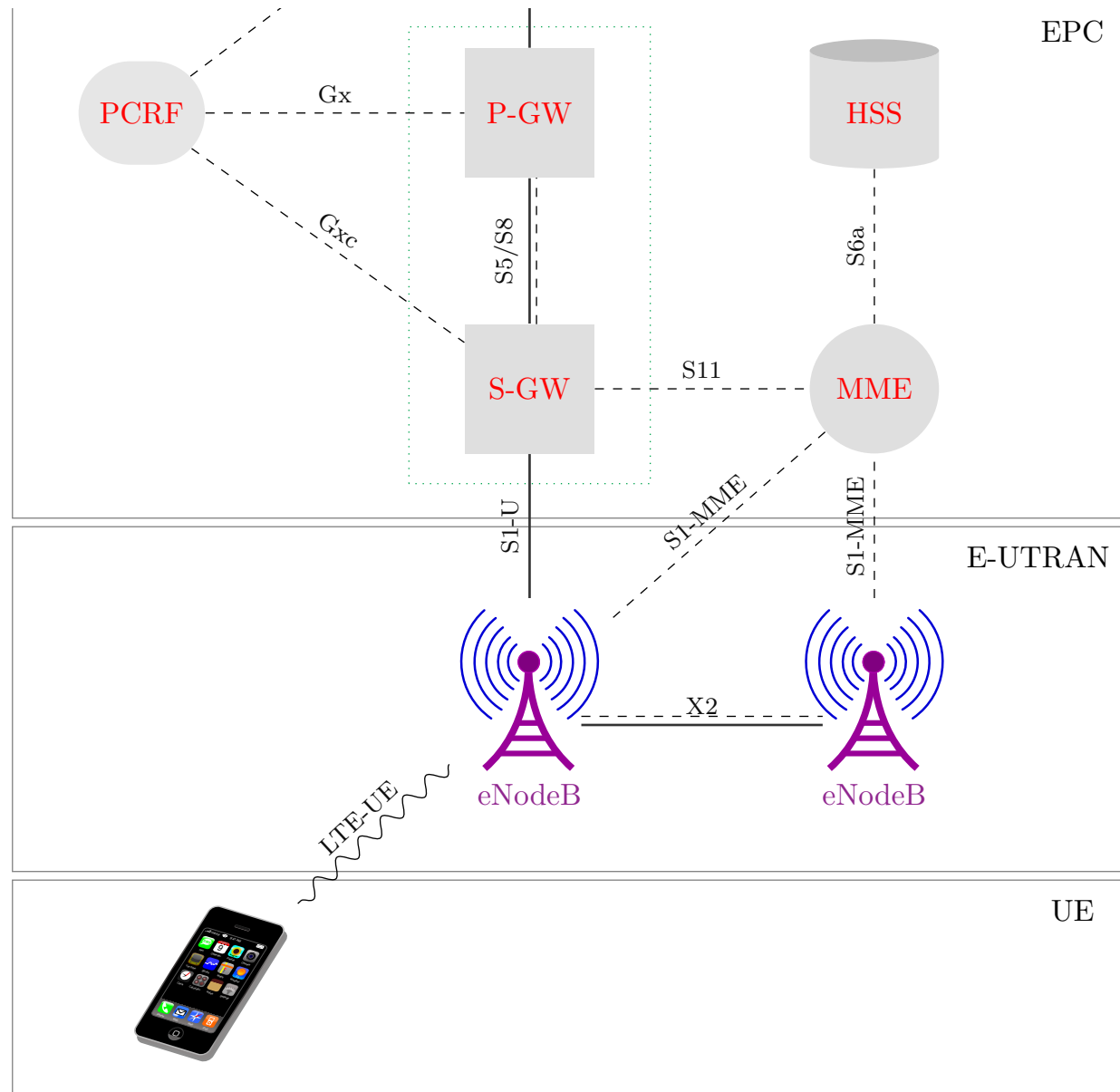
شبکه‌های تلفن همراه

ابوالفضل دیانت

آخرین ویرایش: ۲۲ آذر ۱۴۰۱ در ساعت ۱۳ و ۵۰ دقیقه - نسخه 1.0.0

پشته پروتکلی در ناحیه دسترسی رادیویی

# در کجای داستان قرار داریم؟



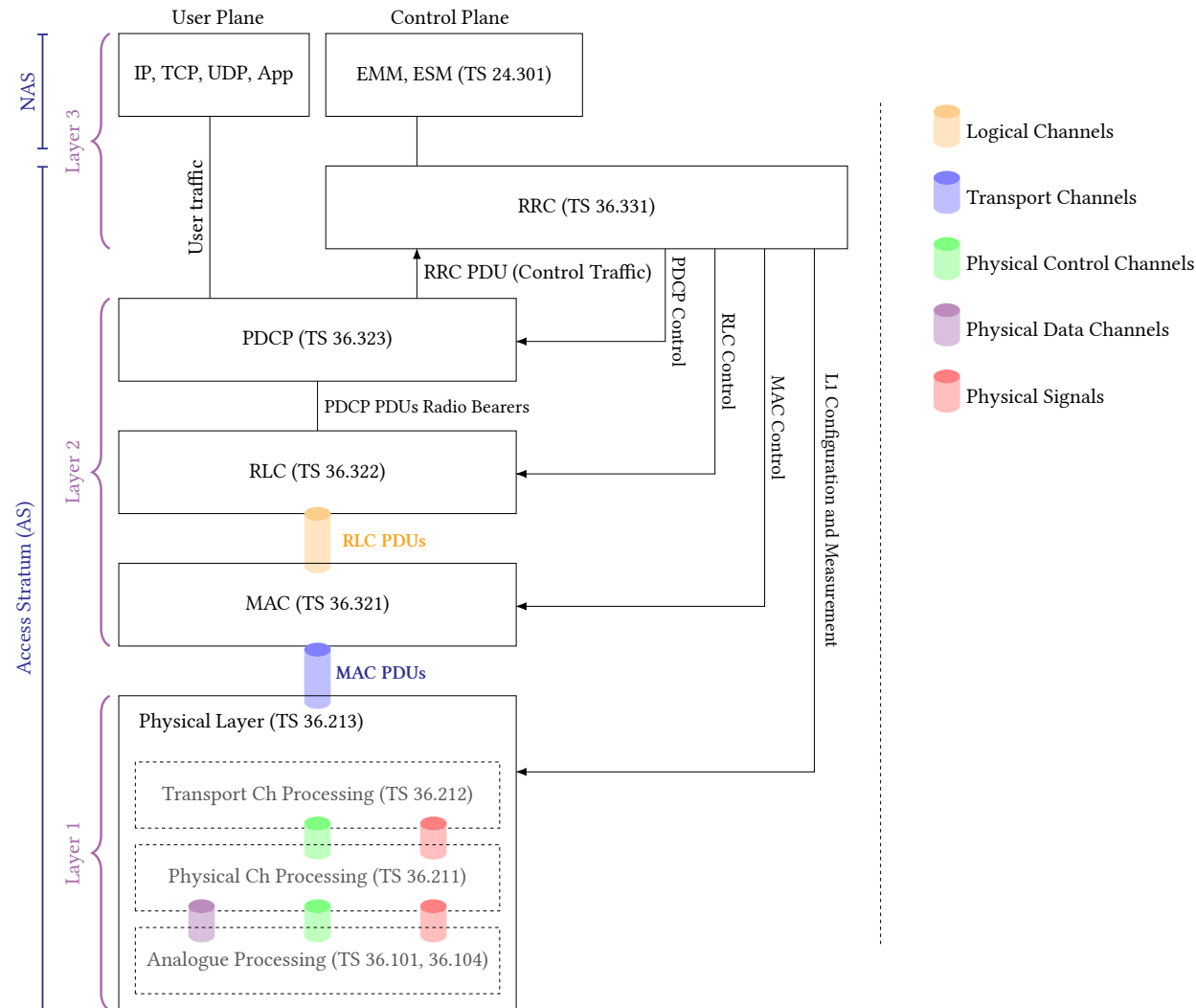
✎ معماری پروتکی در LTE مبتنی بر لایه‌بندی است.

- هر لایه وظیفه‌ای مشخص را برعهده دارد.
- هر لایه به صورت مستقل پیاده‌سازی شده،
- عملکرد درونی هر لایه می‌تواند بدون تاثیرگذاری بر بقیه لایه‌ها تغییر کند.

✎ سه نوع سطح:

- ① سطح کنترلی (Control Plane)
- ② سطح مدیریتی (Management Plane)
- ③ سطح کاربر (User Plane)

# لایه‌های پروتکلی در سطح کنترلی و سطح کاربر



📌 در واژگان شبکه به بسته‌های ورودی به یک لایه SDU و به بسته‌های خارج شده PDU گفته می‌شود.

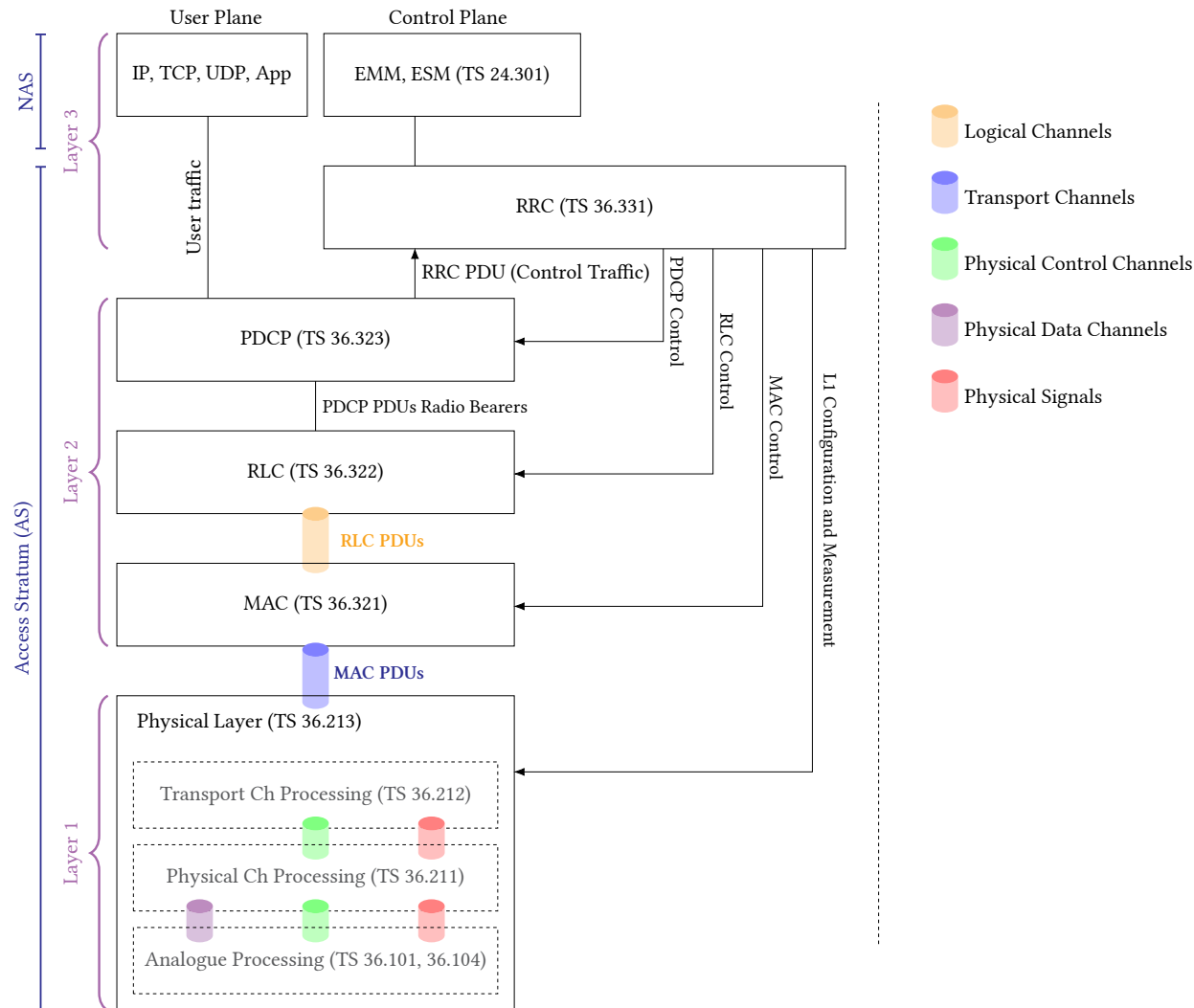
نمایی از معماری پروتکلی LTE در واسط هوایی (بین UE و eNodeB) را از دیدگاه UE، در شکل اسلاید قبل نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانید در شبکه‌های تلفن همراه برای هر کاربر دو نوع سطح ارتباطی به نام‌های سطح کاربر و سطح کنترلی در نظر گرفته می‌شود. در سطح کاربر، بسته‌های داده در لایه کاربرد فرستنده، تولید می‌شود، و بعد از گذر از لایه انتقال و لایه شبکه وارد لایه PDCP می‌شوند. در سوی دیگر، داده‌های تولید شده توسط لایه‌های EMM و ESM، به لایه RRC در سطح کنترلی داده می‌شود. لایه RRC، مسئولیت مبادله پیام‌های کنترلی بین UE و eNodeB را برعهده دارد. در ادامه راه، داده‌های سطح کاربر و سطح کنترلی به صورت مشترک از لایه‌های PDCP، RLC، MAC و لایه فیزیکی عبور می‌کنند، و به صورت یک موج الکترومغناطیسی به سوی گیرنده ارسال می‌شوند.

در واژگان LTE به بسته‌های ورودی به یک لایه اصطلاحاً SDU و به بسته‌های خارج شده از یک لایه PDU گفته می‌شود. بدین ترتیب PDU لایه  $n$ ، SDU لایه  $n + 1$  خواهد شد. به عنوان مثال بسته‌های خروجی از لایه RLC را RLC PDU نام می‌نهیم. RLC PDU ها به عنوان ورودی لایه MAC، MAC SDU نام می‌گیرند. لایه MAC نیز

بعد از اجرای فرایندهایی بر روی MAC SDU ها آن ها را به لایه فیزیکی می دهد. PDU خارج شده از لایه  $n$  در برگیرنده SDU این لایه به اضافه سر بسته اضافه شده به آن است.

$$\begin{aligned} \text{PDU Layer } n &= \text{SDU Layer } n + \text{Header Layer } n \\ &= \text{PDU Layer } n-1 + \text{Header Layer } n \end{aligned} \quad (۱)$$

# سطح AS در سطح کنترلی





بخش AS مسئولیت تمامی وظایف و عملکردهای مرتبط با واسط رادیویی و کنترل آن را برعهده دارد. 📌



پشته پروتکلی نشان داده شده، به دو بخش AS و NAS تقسیم‌بندی می‌شود. بخش AS مسئولیت تمامی وظایف و عملکردهای مرتبط با واسطه رادیویی و کنترل آن را برعهده دارد. از سوی دیگر پروتکل‌های بخش NAS، به منظور ارتباط مستقیم بین UE و هسته شبکه، بکارگرفته می‌شود. پروتکل‌های NAS، هیچ‌گونه تاثیر مستقیمی بر روی ایجاد و نگهداری RAB ها برعهده ندارد. به عبارت دیگر، پروتکل‌های NAS، نسبت به شبکه رادیویی شفاف هستند.

همان‌طور که می‌دانید پروتکل‌های شبکه مخابراتی از لحاظ معماری با ساختار پروتکلی شبکه رایانه‌ای اندکی متفاوت است. یک نگاشت تقریبی بین مدل پنج لایه‌ای شبکه رایانه‌ای [۱] و پشته پروتکلی شبکه LTE در؟؟ نشان داده شده است. در ادامه به مروری مختصر بر روی هر یک از لایه‌های LTE، مبادرت می‌ورزیم.


پروتکل‌های سطح NAS به منظور انتقال سیگنال‌دهی غیررادیویی بین UE و MME بکار گرفته می‌شود. 

از دیدگاه پشته پروتکلی این پروتکل‌ها بالاترین لایه‌ها در سطح کنترلی را تشکیل می‌دهند. 

پروتکل‌های لایه NAS 

● ESM (EPS Session Management)

● EMM (EPS Mobility Management)

پروتکل ESM بیانگر وجود و یا عدم وجود ارتباط سیگنال دهی بین کاربر و شبکه است. 

وضعیت UE در این لایه توسط دو حالت ESM-CONNECTED و ESM-IDLE به طور کامل توصیف می گردد. 



نکته

در برخی از مراجع برای نام این لایه عبارت ECM را به جای ESM برگزیدند.

پروتکل EMM در پشته پروتکلی UE و MME به منظور مدیریت تحرک پذیری UE قرار داده شد.   
وظایف: 

- توصیف حالت UE با یک دیاگرام حالت، به منظور تعیین اتصال و یا عدم اتصال UE به شبکه.
- نگهداری و مراقبت از ارتباط سیگنال دهی کاربر با شبکه در حین حرکت UE.
- رهگیری UE در زمانی که ارتباط سیگنال دهی بین کاربر ثبت شده و شبکه وجود ندارد.
- برقراری مجدد ارتباط سیگنال دهی در هنگامی که UE فعال می شود.



نکته

عملکرد و وظیفه این لایه، به مانند لایه MM در GSM و UMTS و یا GMM در GPRS است.

بیشتر رویه‌هایی که در این لایه انجام می‌پذیرد، مربوط به مرحله اتصال UE به شبکه است. 

- تخصیص (GUTI (Globally Unique Temporary Identity).

- احراز اصالت (Authentication)

- کنترل حالت امنیتی.

- رویه شناسایی (Identification)

- اطلاعات EMM.

📌 لایه RRC، را می توان قلب پشته پروتکلی LTE نامید.

📌 وظایف:

- تولید اطلاعات سامانه مرتبط با سطوح AS و NAS

- پی جویی

- مدیریت ارتباط های RRC

- مدیریت کلید

وظایف زیر برعهده لایه PDCP، قرار داده شده است.

📌 فشردن سازی سربسته لایه IP. PDCP به منظور کمتر نمودن حجم بسته ارسالی، به جای سربسته SDU IP های

رسیده از لایه های بالاتر، یک سربسته جدید با حجم کمتر جایگزین می کند.

📌 نگهداری دنباله ترتیبی PDCP ها. این لایه موظف است که PDU های لایه های بالاتر را در صورت برقراری

مجدد لایه های پایینی، به ترتیب به لایه های بالاتر تحویل دهد.

📌 عملیات رمزگذاری نیز در این لایه انجام می پذیرد.

📌 لایه RLC در حالت کلی، وظیفه انتقال اطلاعات لایه‌های بالاتر به لایه‌های زیرین، را برعهده دارد.

📌 لایه RLC دارای سه حالت عملکردی به صورت TM، UM و AM است.

📌 وظایف:

- تصحیح خطا بر طبق ARQ، در حالت عملکردی AM.
- الحاق و بخش‌بندی SDUهای RLC برای حالت‌های UM و AM.
- تشخیص بسته‌های تکراری در حالت‌های UM و AM.
- تشخیص رخداد خطا در پروتکل و برقراری مجدد در حالت AM.
- مرتب‌سازی مجدد PDUهای RLC در حالت UM و AM.
- بخش‌بندی مجدد، البته تنها در حالت AM.



## پروتکل لایه دسترسی به رسانه

مهم‌ترین وظیفه لایه دسترسی به رسانه و یا به صورت مختصر لایه MAC، نگاشت کانال منطقی به کانال ترابری است.

در لایه MAC، SDUهای یک یا چند کانال منطقی، با یکدیگر هم‌تافت گشته، و تحت بلوک انتقال، از طریق کانال ترابری، به سوی لایه فیزیکی می‌رود.

در پیوند فراسو نیز در سوی UE، عملیات و اتافت‌گری اتفاق خواهد افتاد.

برخی از وظایف لایه MAC، به شرح زیر است.

- زمان‌بندی پویا.
- گزارش‌دهی از نحوه زمان‌بندی.
- تصحیح خطا از طریق HARQ.
- اولویت‌بندی کانال منطقی.

## پروتکل لایه فیزیکی

📌 لایه فیزیکی تمامی داده‌های حمل شده توسط کانال ترابری را در واسط هوایی ارسال می‌کند.

📌 عملیاتی نظیر تطابق پیوند، کنترل توان، جستجوی سلول و برخی اندازه‌گیری‌ها تحت نظارت لایه RRC،

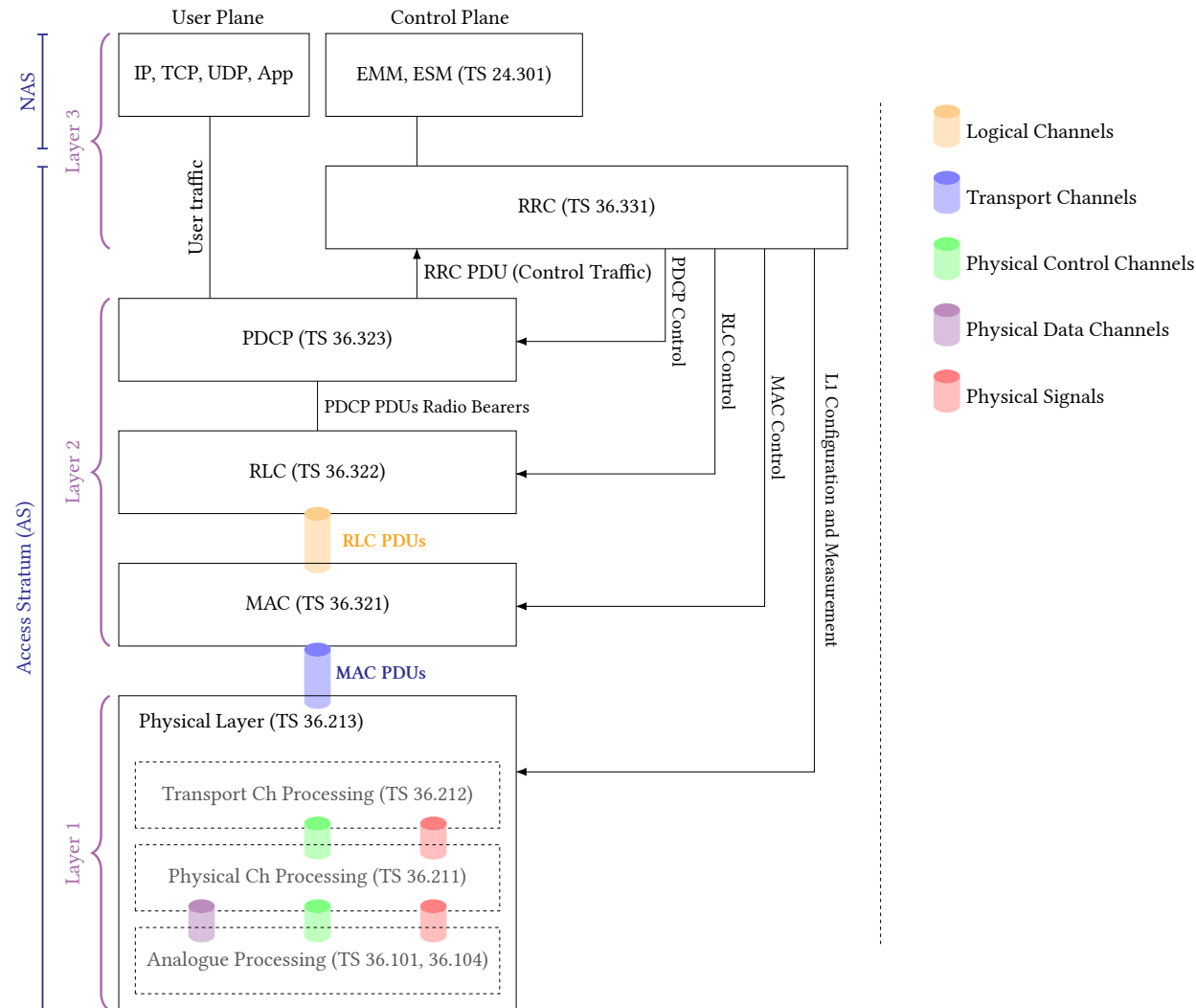
در لایه فیزیکی انجام می‌پذیرد.

گنجلو

📌 در شبکه‌های مبتنی بر لایه‌بندی، هر لایه به لایه بالاتر خود خدماتی را ارائه می‌دهد. دو لایه مجاور به وسیله نقاط اتصال که به صورت مجازی و یا فیزیکی قرار داده شده است، به مبادله پیام با یکدیگر مبادرت می‌ورزند. به این نقاط اتصال اصطلاحاً SAP (Service Access Point) می‌گوییم.

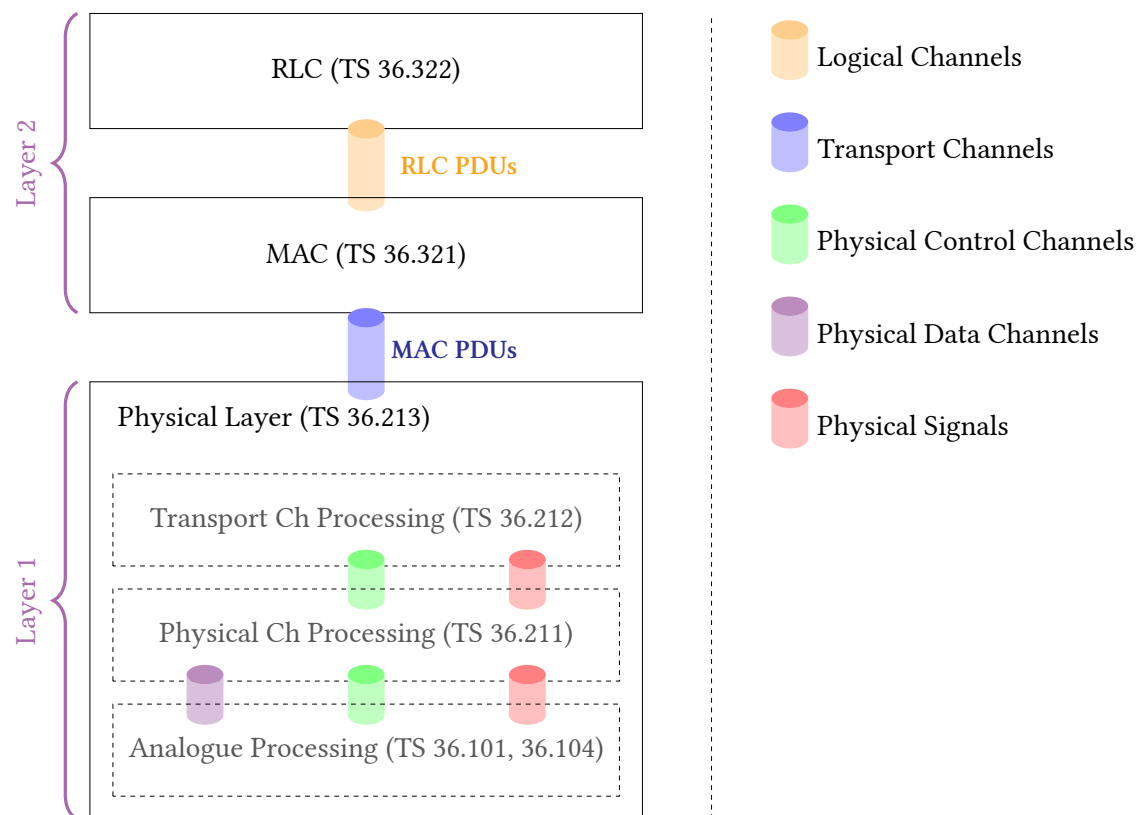
📌 در شبکه تلفن همراه به منظور پشتیبانی از کلاس‌های QoS مختلف، برای خدمات گوناگون، یک ساختار سلسله‌مراتبی از کانال‌ها معرفی شده است. به عبارت دیگر، کانال‌ها SAP‌های بین دو لایه هستند.

# کانال‌ها (ادامه)



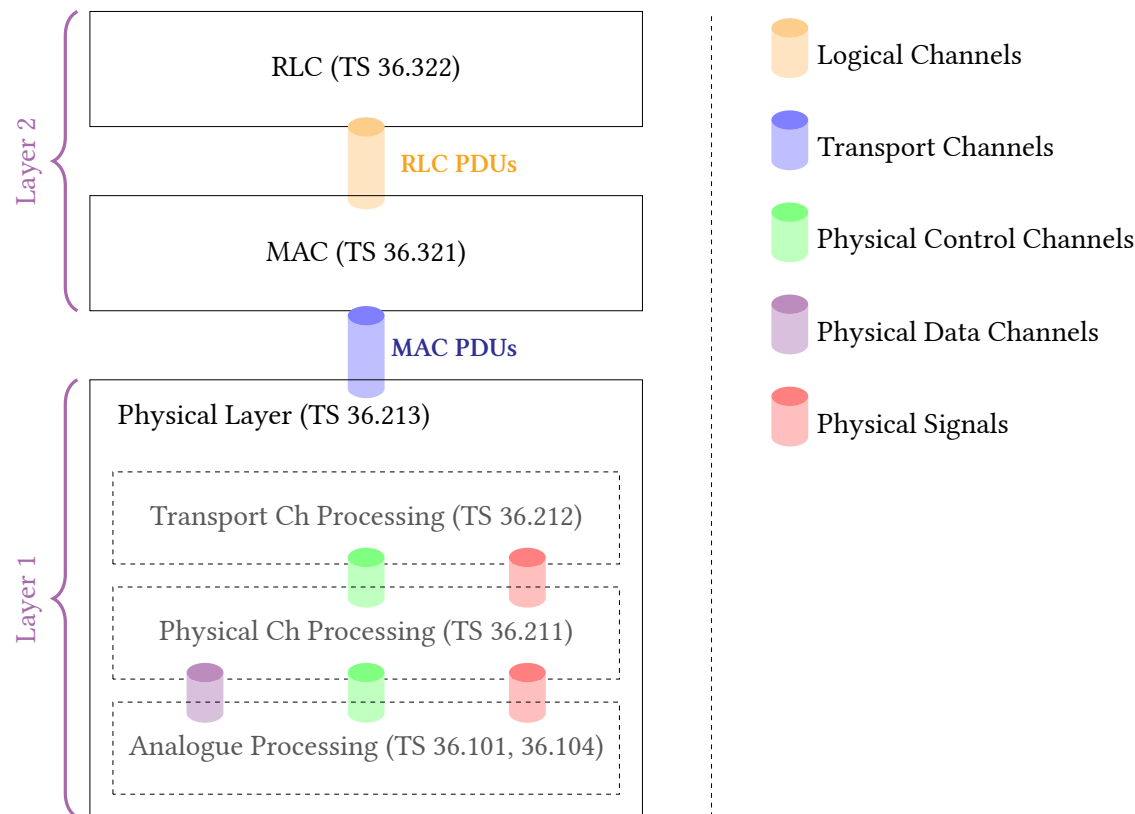
📌 کانال‌های شبکه‌های تلفن همراه در سه نوع تقسیم‌بندی می‌شوند.

## کانال‌ها (ادامه)



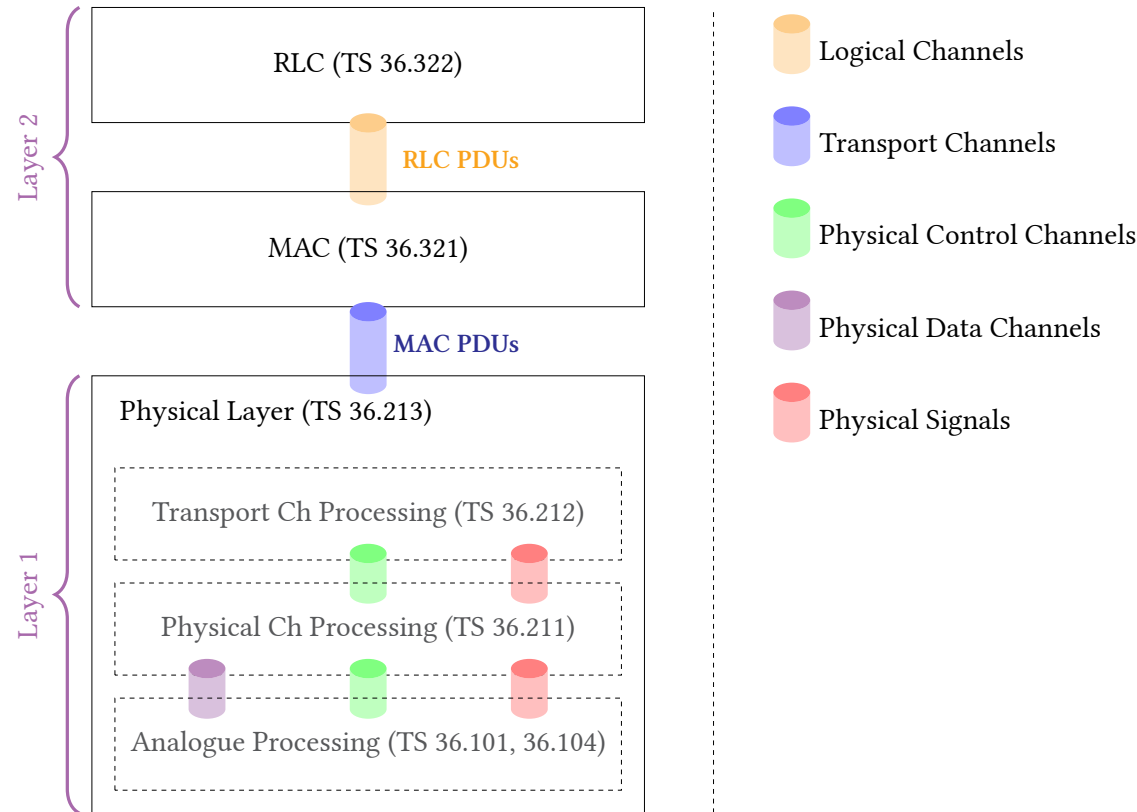
لایه‌های پایینی شبکه (لایه پیوند داده و لایه فیزیکی) توسط کانال‌های تعریف شده، خدمات را به لایه‌های بالاتر خود ارائه می‌دهند. در شبکه‌های تلفن همراه از سه نوع کانال مختلف بین لایه‌ها استفاده می‌شود.

## کانال‌ها (ادامه)



📌 کانال‌های منطقی: خدمات لایه MAC به لایه RLC، توسط کانال منطقی ارائه می‌گردد. هر کانال منطقی، عملیات مختلفی را بر روی داده‌ها انجام می‌دهد. بدین‌سان کانال‌های منطقی مختلفی، برای ارائه خدمات گوناگون معرفی شده‌است.

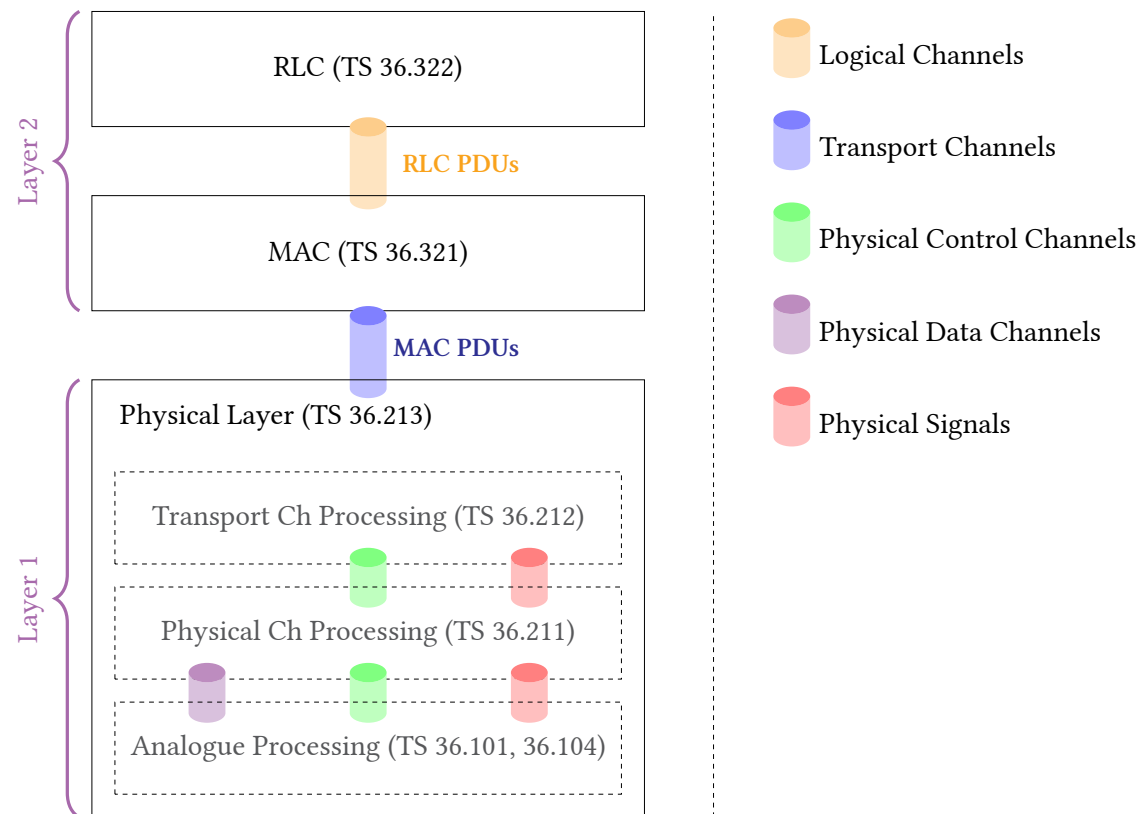
## کانال‌ها (ادامه)



📌 کانال‌های ترابری: لایه MAC، خدمات مورد نیاز خود را تحت تعدادی کانال ترابری از لایه فیزیکی، دریافت می‌کند. مهم‌ترین وظیفه کانال‌های ترابری، قطعه قطعه کردن جویبار داده به بخش‌هایی به نام بلوک انتقال است. در هر بازه به طول یک TTI، حداکثر یک بلوک انتقال در واسط هوایی ارسال می‌گردد.



# کانال‌ها (ادامه)



📖 کانال‌های فیزیکی: کانال فیزیکی در بین لایه فیزیکی و رسانه مشترک ( واسط هوایی ) قرار دارند. کانال فیزیکی وظیفه نگاشت داده‌های هر کانال ترابری، به زمان و فرکانس معینی، را بر عهده دارند.

**کانال اختصاصی و کانال عمومی:** کانال اختصاصی تنها به یک UE تخصیص داده می‌شود، در حالی که کانال عمومی بین چندین UE به اشتراک گذاشته می‌شود.

**کانال‌های پیوند فراسو و کانال‌های پیوند فروسو:** داده‌هایی که از سوی سلول به سوی UE رهسپار می‌شود، در کانال‌های پیوند فروسو وارد شده، در حالی که در کانال‌های پیوند فراسو، اطلاعات از UE به سوی سلول رهسپار می‌گردد.

**کانال‌های تک‌سویه و کانال‌های دوسویه:** کانال‌های دوسویه هم در پیوند فراسو مورد استفاده قرار می‌گیرد، و هم در پیوند فروسو. در حالی که کانال‌های تک‌سویه، تنها در یکسوی ارتباط استفاده می‌شوند.

**کانال‌های کنترلی و کانال‌های ترافیکی:** کانال‌های کنترلی به منظور انتقال داده‌های سطح کنترلی بکارگرفته می‌شود، اما کانال‌های ترافیکی، داده‌های سطح کاربر را مبادله می‌نمایند.

## کانال منطقی

Channel	Release	Name	Information carried	Direction	C/T
DTCH	R8	DTCH	User plane data	UL, DL	T
DCCH	R8	DCCH	Signalling on SRB 1 & 2	UL, DL	C
CCCH	R8	CCCH	Signalling on SRB 0	UL, DL	C
PCCH	R8	PCCH	Paging messages	DL	C
BCCH	R8	BCCH	System information	DL	C
MCCH	R9	MCCH	MBMS signalling	DL	C
MTCH	R9	MTCH	MBMS data	DL	T

**BCCH** این کانال منطقی در پیوند فروسو به منظور انتقال اطلاعات سامانه و پیام‌های PWS مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات سامانه به UE، اطلاعاتی در مورد نحوه پیکربندی eNodeB و شبکه ارایه می‌دهد.

**CCCH** یک کانال منطقی دو سویه برای تبادل اطلاعات کنترلی در پیوند فراسو و پیوند فروسو، در زمانی که هنوز هیچ‌گونه کانال کنترلی اختصاصی، به کاربر تخصیص داده نشده است. در سوی پیوند فراسوی این کانال، UE از سازوکارهای دسترسی تصادفی، به منظور درخواست تخصیص منابع از eNodeB استفاده می‌کند.

**DCCH** به هر UE پس از برقراری اتصال RRC با شبکه، یک کانال منطقی دو سویه اختصاصی به نام DCCH، به منظور تبادل اطلاعات کنترلی اختصاص می‌یابد. تمام فرامین کنترلی مربوط به مدیریت نشست و مدیریت تحرک‌پذیری در DCCH منتقل می‌شود.

**PCCH** این کانال، برای باخبرسازی UE از یک تماس ورودی و یا تغییر اطلاعات سامانه در BCCH، مورد استفاده قرار می‌گیرد. UE اطلاعات این کانال را در حالت RRC-IDLE دریافت می‌کند، که با دریافت آن ممکن

است از حالت RRC-IDLE به RRC-CONNECTED نقل مکان کند.

**MCCH** این کانال کنترلی در نسخه نه LTE به منظور پشتیبانی از MBMS ارایه شد. در این کانال، داده‌های کنترلی مرتبط با خدمات MBMS، ارسال می‌گردد.

**DTCH** این کانال دوسویه، به منظور تبادل اطلاعات سطح کاربر، بین UE و eNodeB، استفاده می‌شود. تمامی داده‌های ترافیکی کاربر در پیوند فراسو و در پیوند فروسو به غیر از داده‌های MBSFN، در این کانال منتقل می‌شود.

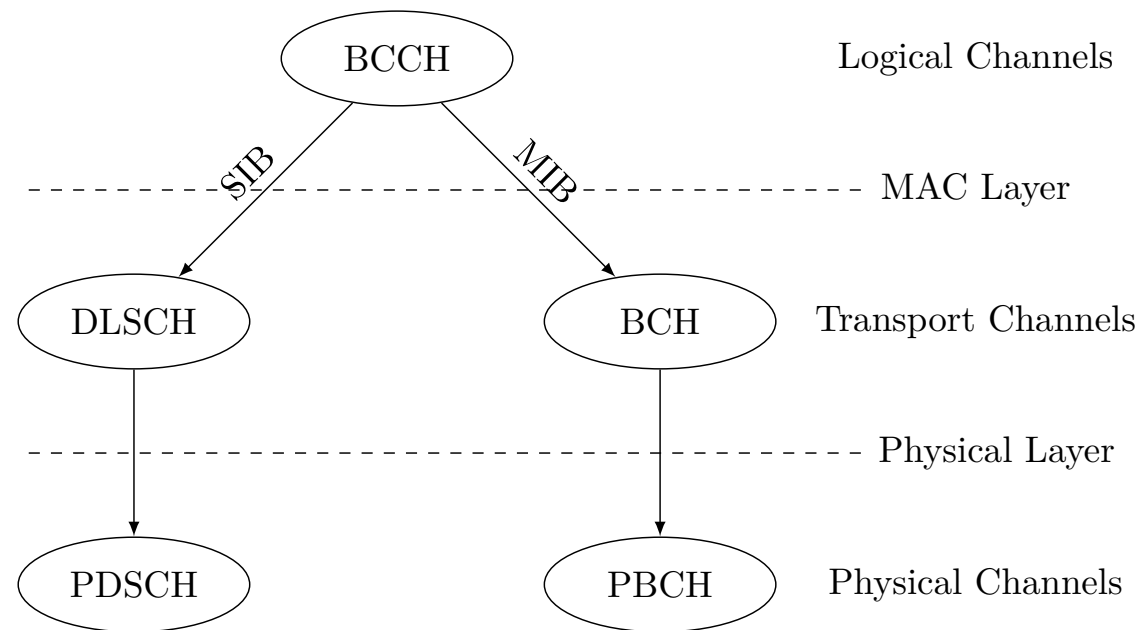
**MTCH** این کانال ترافیکی در پیوند فروسو در نسخه نه LTE، به منظور پشتیبانی از MBMS، ارایه شد. MBMS خدماتی است که توسط آن داده‌های چندرسانه‌ای همه‌پخش و چندپخش (به مانند تلوزیون و یا تبلیغات منطقه‌ای)، از سوی شبکه به سمت UE ها ارسال می‌گردد.

## کانال ترابری

یک یا چند کانال منطقی، به یکدیگر هممتافته شده و تحت یک کانال ترابری منتقل می‌شوند. برخلاف کانال‌های منطقی، کانال‌های ترابری همگی تک‌سویه هستند.

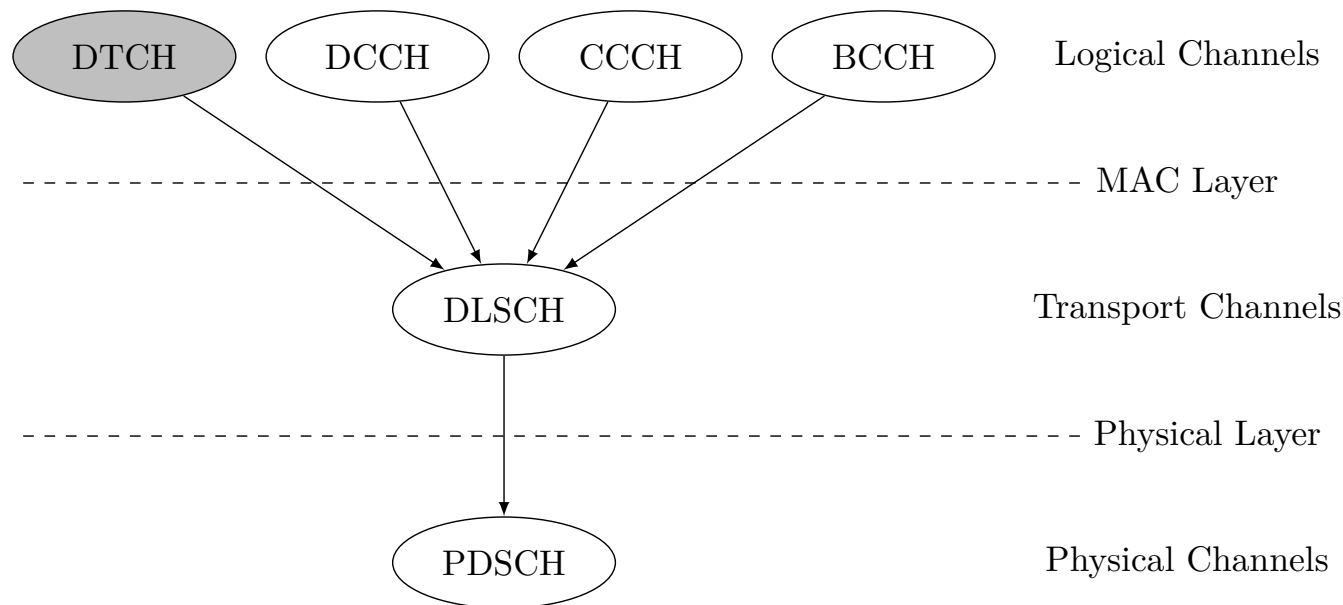
Channel	Release	Name	Information carried	Direction
UL-SCH	R8	UL-SCH	Uplink data and signalling	UL
RACH	R8	RACH	Random access requests	UL
DL-SCH	R8	DL-SCH	Downlink data and signalling	DL
PCH	R8	PCH	Paging messages	DL
BCH	R8	BCH	Master information block	DL
MCH	R8/R9	MCH	MBMS	DL

📌 کانال ترابری BCH، قسمتی از اطلاعات کانال BCCH را حمل می کند که به منظور دستیابی و بازگشایی اطلاعات BCCH ای که از DL-SCH ارسال می گردد، مورد نیاز است. BCH بخش MIB را از اطلاعات سامانه منتقل می کند.



شکل ۱: نگاشت کانال BCCH به کانال های DL-SCH و BCH

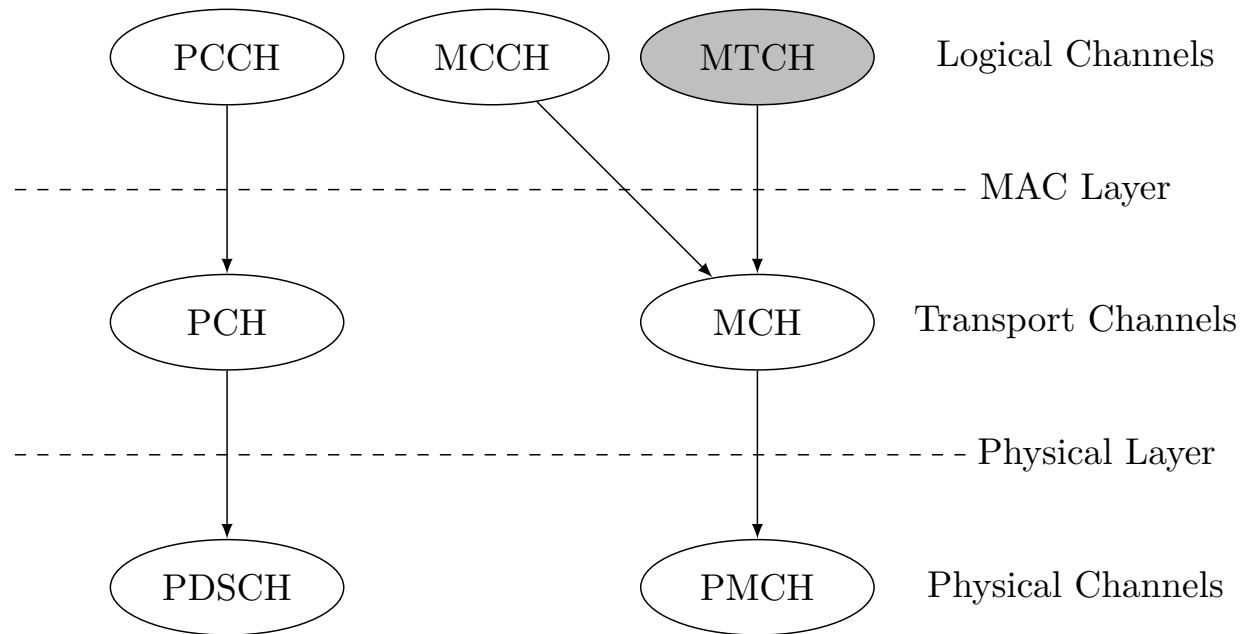
📌 کانال DL-SCH ضمن انتقال اطلاعات کانال‌های منطقی DCCH و CCCH، قسمتی از اطلاعات BCCH (SIB ها) را که توسط BCH، حمل نمی‌گردد، را منتقل می‌کند.






## کانال ترابری - PCH (Paging Channel)

📌 کانال ترابری PCH اطلاعات کانال PCCH را به لایه فیزیکی منتقل می کند.



UE از این کانال به دو منظور استفاده می کند. 

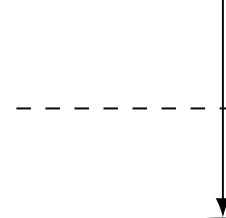
- در زمانی که به UE هیچ گونه کانال اختصاصی در پیوند فراسو، تخصیص داده نشده است، و UE می خواهد از شبکه درخواست تخصیص منابع را بکند. این رخداد در ابتدای ارتباط UE با شبکه و یا در پاسخ او به پیام های پی جویی، روی می دهد.
- در زمانی که همزمانی UE با شبکه، از بین رفته باشد.

## Logical Channels

----- MAC Layer



Transport Channels



----- Physical Layer

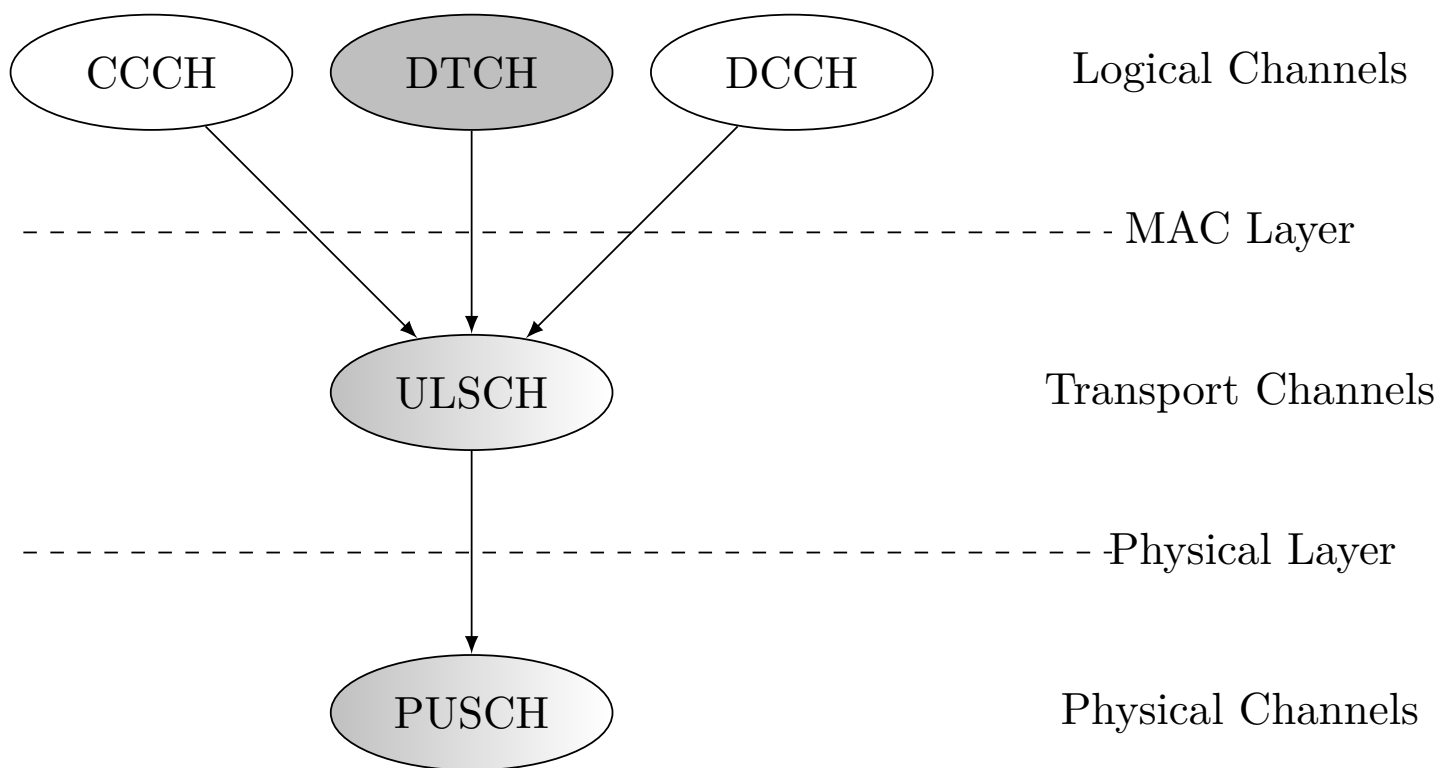


Physical Channels

شکل ۲: نگاشت کانال RACH

**UL-SCH** این کانال به منظور انتقال اطلاعات ترافیکی و کنترلی UE ها، در پیوند فراسو مورد استفاده قرار

می گیرد.



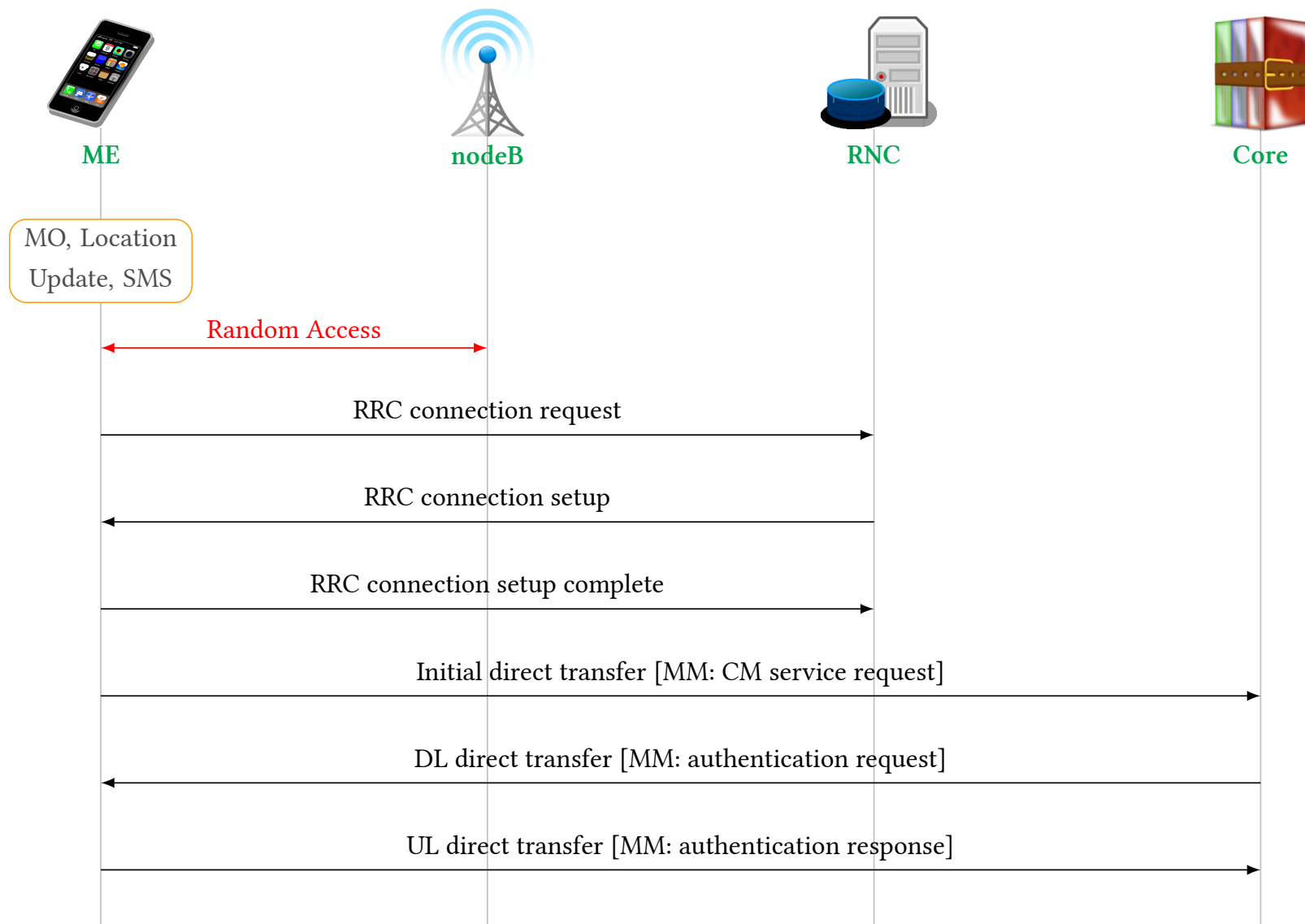
## کانال فیزیکی (Physical Channel)

نمایی از کانال فیزیکی بکارگرفته شده در LTE در جدول زیر ارائه شده است.

Channel	Release	Name	Information carried	Direction
PUSCH	R8	PUSCH	UL-SCH and/or UCI	UL
PRACH	R8	PRACH	RACH	UL
PDSCH	R8	PDSCH	DL-SCH and PCH	DL
PBCH	R8	PBCH	BCH	DL
PMCH	R8/R9	PMCH	MCH	DL

فرايند دسترسي تصادفي

# درخواست برقراری ارتباط RRC



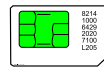
۱۶ کلاس‌های دسترسی [۲، §7.2.4]:



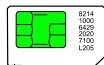
● Class 0-9: به صورت تصادفی به هر USIM داده می‌شود (HPLMN و VPLMN).



● Class 10: برای تماس اضطراری به عنوان مثال: شماره ۹۱۱ در آمریکا (HPLMN و VPLMN)



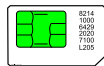
● Class 11: تخصیص داده شده برای عملگر (HPLMN)



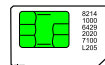
● Class 12: خدمات امنیتی (مثل پلیس) (HPLMN و VPLMN)



● Class 13: خدمات عمومی (مثل خدمات توزیع برق). (HPLMN و VPLMN)



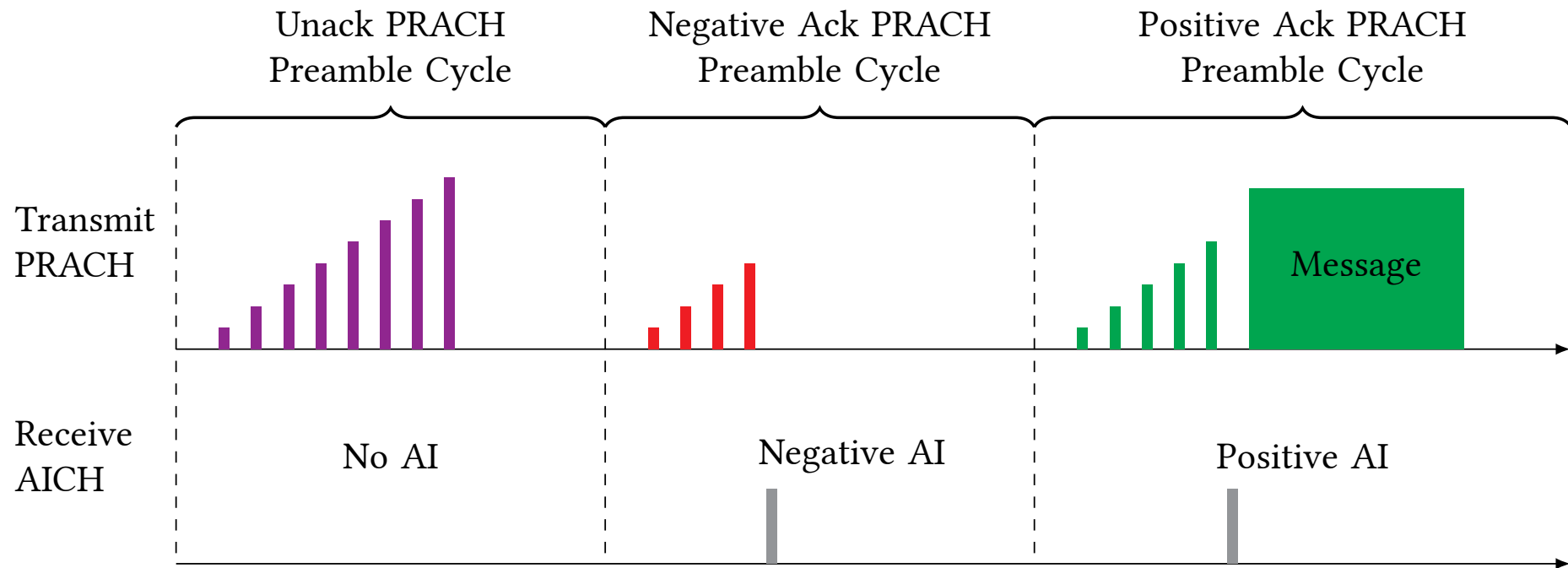
● Class 14: تخصیص داده شده به خدمات اضطراری (HPLMN و VPLMN).



● Class 15: تخصیص داده شده برای تکنسین‌های شبکه (HPLMN).



## نحوه ارسال Preamble



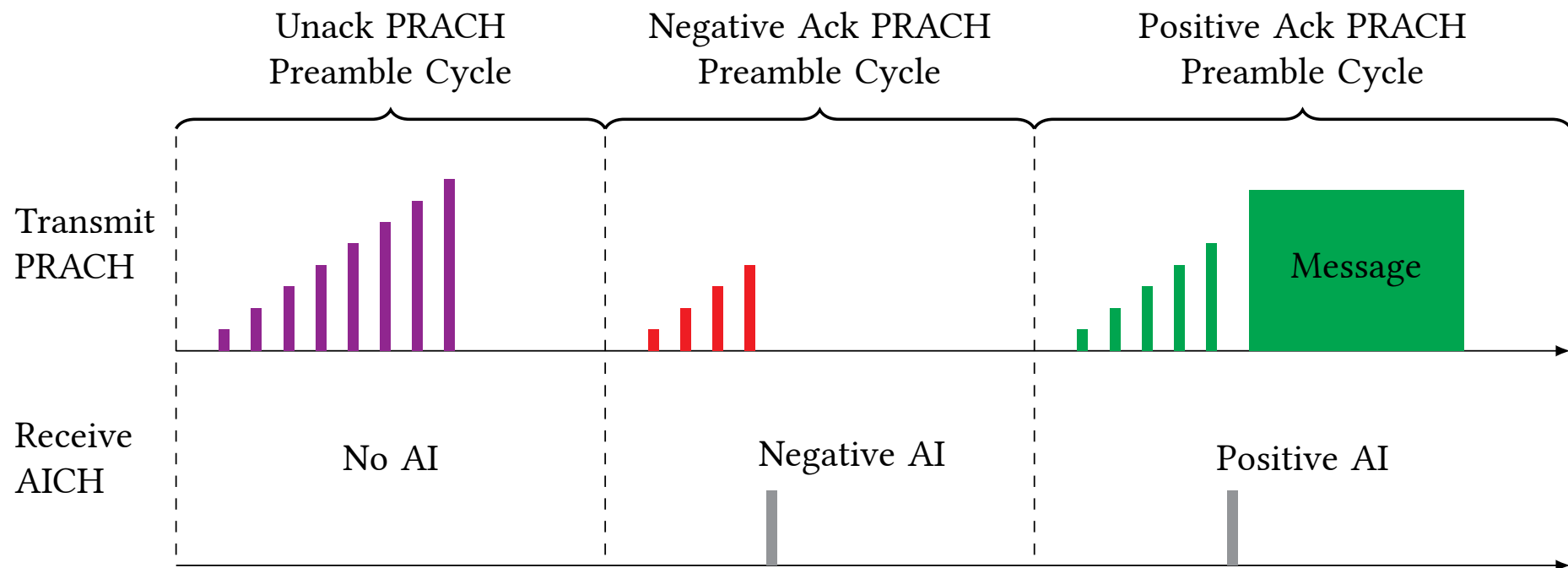
UE تا چه تعداد بار Preamble ارسال می کند؟



پارامتر `preambleRetransMax` که در SIB5 ارسال می شود.

مقداری است اجباری بین یک تا ۶۴.

## نحوه ارسال Preamble (ادامه)



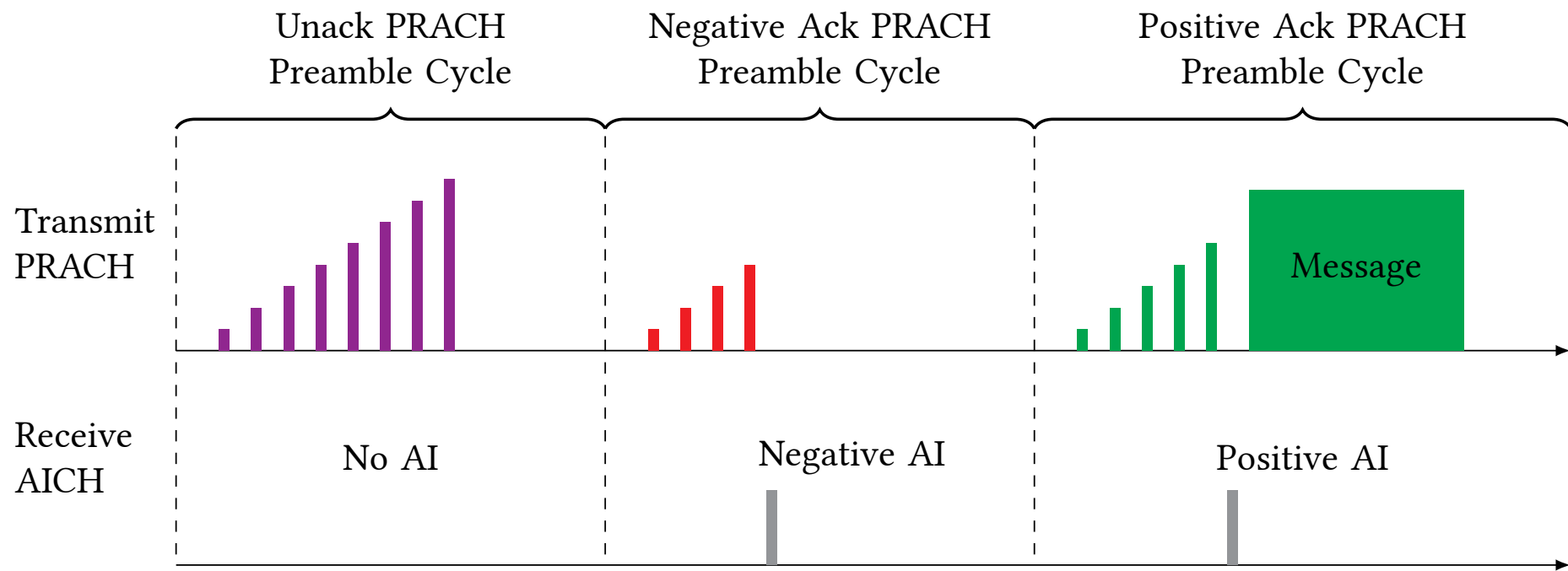
UE در ارسال هر Preamble با چه گام‌هایی باید توان را اضافه کند؟



پارامتر powerRampStep که در SIB5 ارسال می‌شود.

مقداری است اجباری بین یک تا ۸ به واحد dB.

## نحوه ارسال Preamble (ادامه)



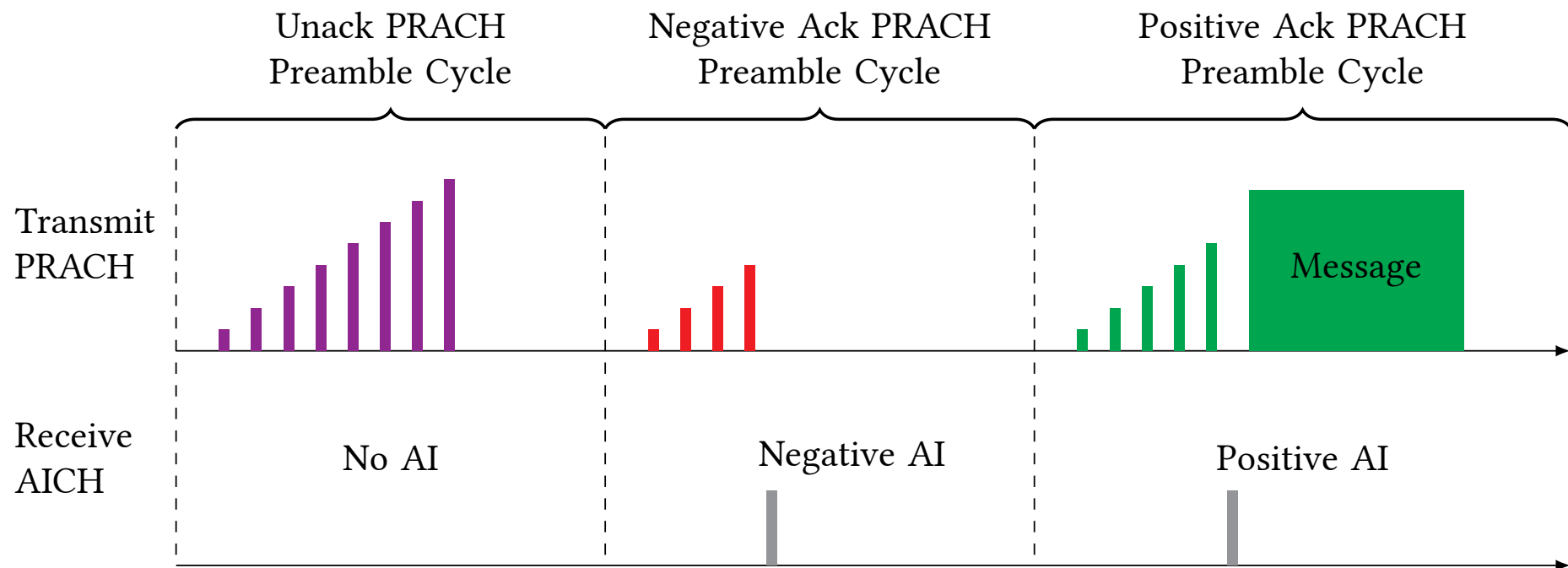
UE باید ارسال Preamble را با چه توانی آغاز کند؟



این توان از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Init RACH Preamble Pow} = \text{Primary CPICH TX Pow} - \text{CPICH-RSCP} + \text{UL-Interference} + \text{Const}$$

## نحوه ارسال Preamble (ادامه)



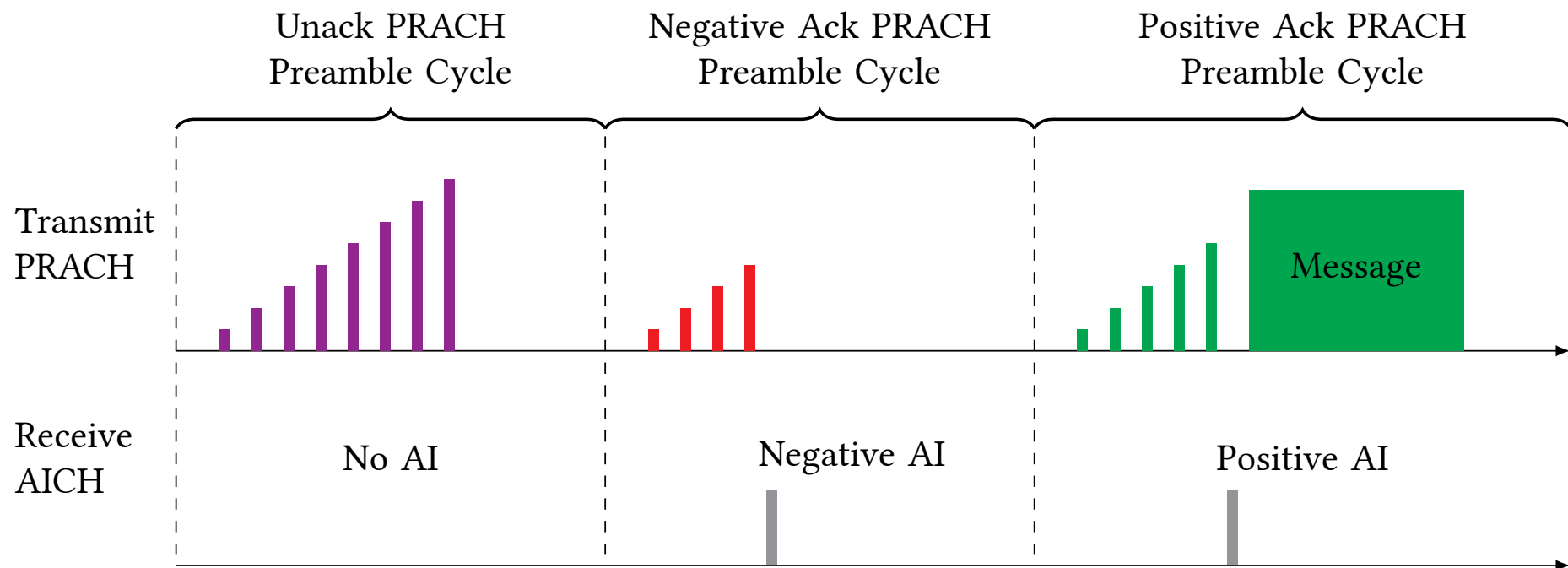
UE تا چند بار کل فرایند ارسال Preamble را تکرار می کند؟



پارامتر  $m_{max}$  که در SIB5 ارسال می شود.


مقداری است اجباری بین یک تا ۳۲. 

## نحوه ارسال Preamble (ادامه)

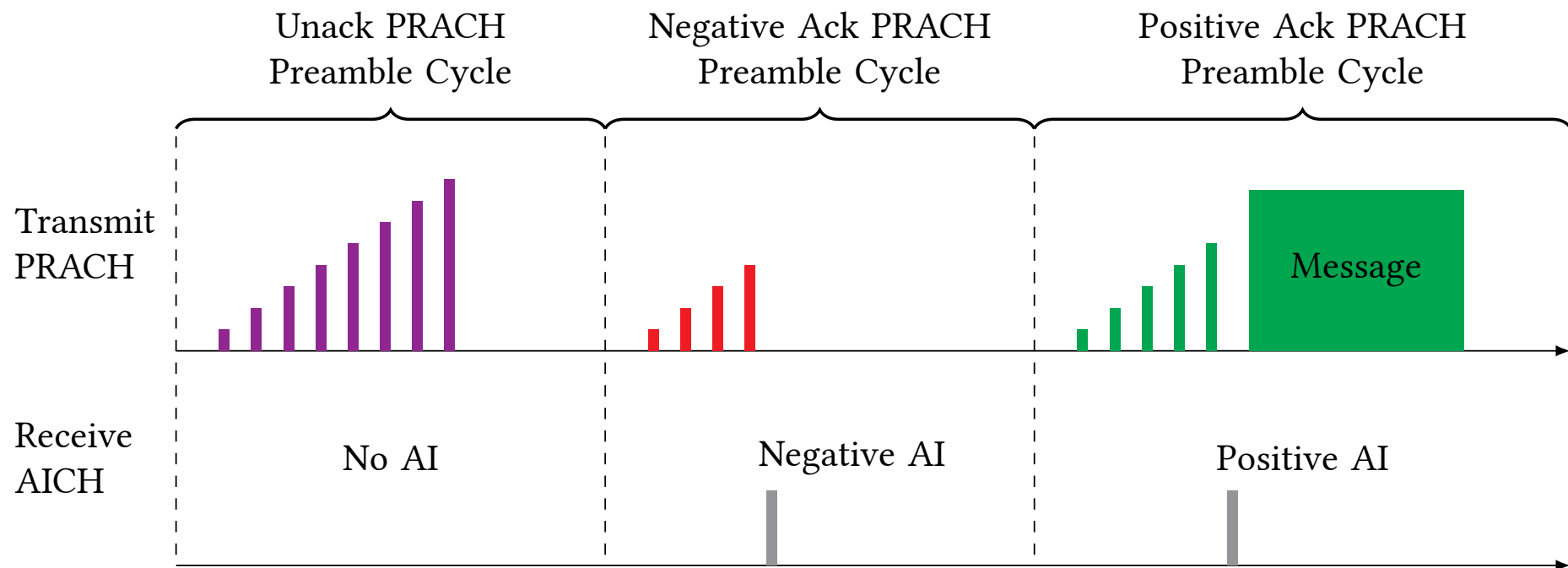


UE در صورت عدم موفقیت در یک دوره Preamble تلاش بعدی در چه زمانی صورت می‌پذیرد؟



کمیته بازه بین دو ارسال گروه Preamble برابر با  $10ms$  است. 

## نحوه ارسال Preamble (ادامه)



UE اگر UE پاسخ NACK از شبکه دریافت کند، چه باید بکند؟ 

UE باید در صورتی که به مقدار  $m_{max}$  نرسیده است، سازوکار back-off timer را اجرا کند. 

تولید یک عدد تصادفی بین  $nb01Min$  و  $nb01Max$ . 

ظرفیت

یک شبکه در باند فرکانسی (Frequency Band)

System	Band	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Channel number
GSM-850	850	824.2–849.2	869.2–894.2	128–251

به سراغ کانال SDCCH (Standalone Dedicated Control Channel) رفته و این کانال را به عنوان منابع

اصلی شبکه در نظر می گیریم.



به این شبکه  $12\text{ MHz}$  پهنای باندها تخصیص داده شده.

$$BW = 12\text{ [MHz]}$$

هر آنتن در شبکه GSM سه سلول با زوایای  $120^\circ$  درجه نسبت به همدیگر دارد. هر سلول می‌تواند یک یا چند فرکانس حامل رادیویی داشته‌باشد.

$$T_0 : \text{FCCH} + \text{SCH} + \text{CCCH} + \text{SDCCH}/4 \quad T_1 : \text{SDCCH}/8 \quad T_2 - T_7 : \text{TCH}$$

منابع شبکه مورد بررسی به ازای هر زیرباند برابر با مقدار ۱۲ است.

✎ مساحت تحت پوشش هر سلول ( $Cell_{area}$ )، برابر با  $8 \text{ km}^2$  است. لذا شعاع پوشش (Coverage) هر سلول برابر است با:

$$Cell_{area} = \pi Cell_R^2 \Rightarrow Cell_R = \sqrt{\frac{Cell_{area}}{\pi}} \quad (2)$$
$$Cell_R = \sqrt{\frac{8 \times 10^6 [m^2]}{\pi}} = 1596 [m]$$

در نظر گرفتن پوشش هر سلول به صورت یک دایره کامل، با فرض تمام جهته (Omnidirection) بودن آنتن‌ها و عدم وجود عناصر مخل در مسیر سیگنال به مانند ساختمان‌ها، درختان و ... است.

✎ کل ناحیه تحت پوشش شبکه ( $Net_{area}$ ) برابر با  $4000 \text{ km}^2$  است.

✎ فرض می‌کنیم که زمان برخوردی (Holding Time) از توزیع نمایی (Exponential Distribution) پیروی می‌کند.

$$f(x, \mu) = \begin{cases} \mu e^{-\mu x} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$\frac{1}{\mu}$  برابر با میانگین زمان های برخوردی است.

✎ فرض می‌کنیم که از یک منبع با تعداد نامتناهی کاربر با توزیع پواسن با پارامتر  $\lambda$  تعدادی درخواست پرسش در هر بازه زمانی به شبکه ارسال می‌گردد.

✎ اگر همه منبع اشغال بودند، درخواست‌های جدید به طور کامل از بین می‌روند، و یا به عبارت دیگر دوباره به منبع باز می‌گردند، و در صف انتظاری قرار نمی‌گیرند.

Holding Time	Time
Normal Location Updating	3.5 sec
Periodic Registration	3.5 sec
IMSI Attach	3.5 sec
IMSI Detach (Without Authentication)	2.9 sec
Call Setup (Mobile Originating Call)	2.7 sec
Call Setup (Mobile Terminating Call)	2.9 sec
SMS (Vary depending the length of SMS)	6.2 sec
Fax (Mobile Originating Call)	2.7 sec
Fax (Mobile Terminating Call)	2.9 sec

## محاسبه بهره طیفی در شبکه GSM (ادامه)

📌 بر طبق استاندارد GSM، میزان درصد مجاز برای انسداد (Blocking) کانال TCH برابر با 2 درصد است. در مورد کانال‌های SDCCH/8 مقدار درصد مجاز انسداد برابر با 5 درصد و برای SDCCH/4 برابر با 1 درصد است.

$$\mathbb{P}(\text{Call blocking}) = 0.01$$

📌 پارامتر باز مصرف فرکانسی (Frequency Reuse) نیز برابر با چهار در نظر گرفته می‌شود.


$$Freq_{reuse} = 4$$

هدف


محاسبه بهره طیفی (Spectral Efficiency): حداکثر تعداد تماس (Call) همزمان در واحد

زمان!



$Cell_{num}$  : تعداد کل سلول‌های شبکه. 

$$Cell_{num} = \frac{Net_{area}}{Cell_{area}} \implies Cell_{num} = \frac{4000 [km^2]}{8 [km^2]} = 500 \quad (4)$$

$Sector_{num}$  : تعداد کل سکتورهای شبکه. 

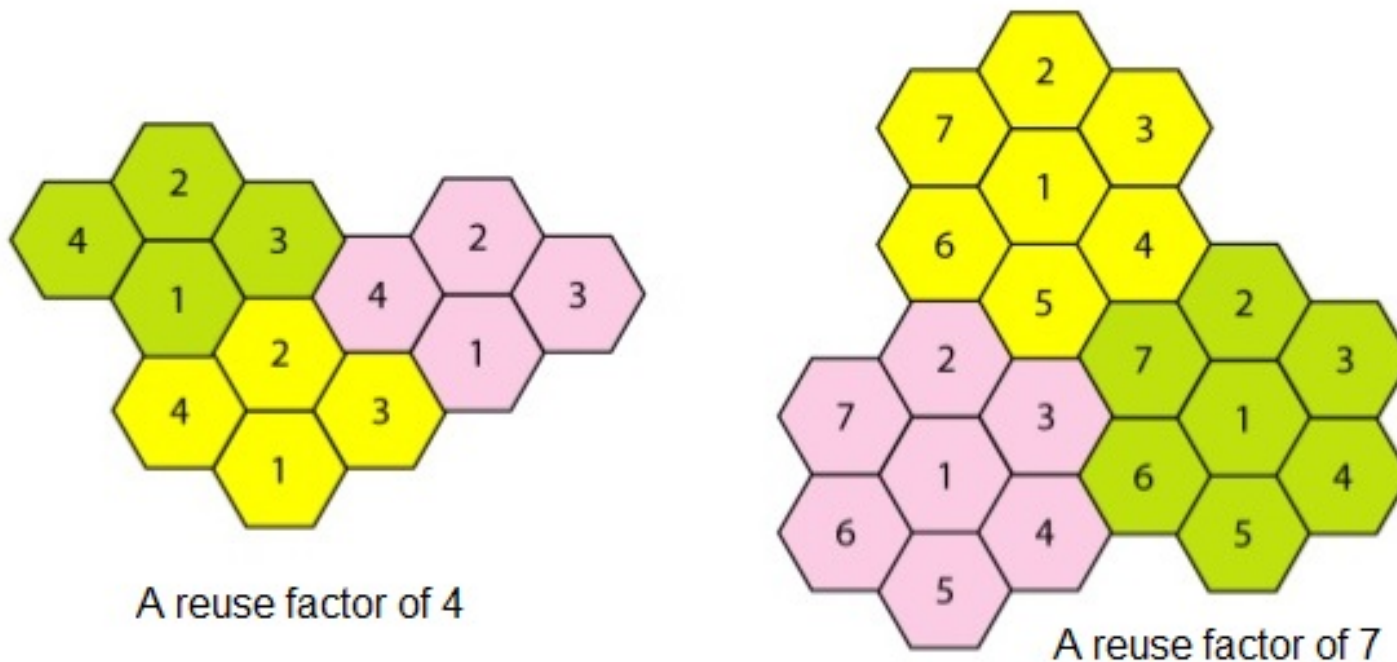
$$Sector_{num} = Cell_{num} \times 3 \implies Sector_{num} = 500 \times 3 = 1500 \quad (5)$$

$N$  : تعداد باندهای RF،  $200 kHz$  ای. چراکه همان‌طور که می‌دانید در شبکه GSM پهنای باند تخصیص

یافته به شبکه، به تعدادی زیرباند  $200kHz$  تقسیم می‌شود.

$$N = \frac{BW}{200 [kHz]} \implies N = \frac{12 \times 1000 [kHz]}{200 [kHz]} = 60 \quad (6)$$

چون از سازوکار باز مصرف فرکانسی (Frequency Reuse) استفاده می کنیم، تمامی ۱۵۰۰ سکتور به گروه های چهار سلولی تقسیم بندی می شود. لذا با این وجود به هر سلول (Cell) تعداد ۱۵ زیرباند می رسد.



هر سلول شبکه نیز دارای سه سکتور است که به سکتور ۵ زیرباند خواهد رسید.

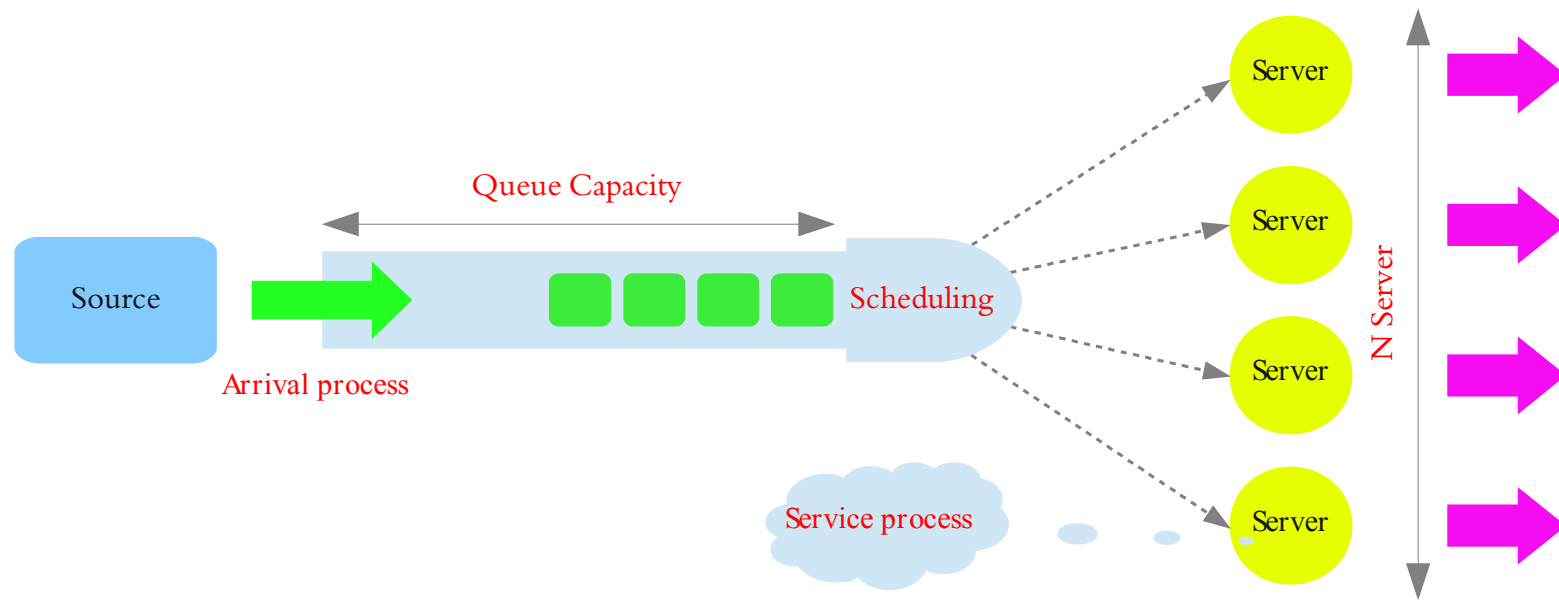
$$\# \text{ per sector} = \frac{N}{Freq_{reuse}} = \frac{15}{3} = 5 \quad (V)$$

$ch_{num}$ : تعداد کل SDCCH

$$CH_{num} = N \times \# \text{ SDCCH} \implies CH_{num} = 5 \times 12 = 60 \quad (A)$$



# محاسبه بهره طیفی در شبکه GSM (ادامه)



با کمی دقت می‌توان متوجه شد که با یک صف  $FIFO$   $m/m/V/0$  مواجه هستیم، و این مساله در رابطه Erlang B صادق خواهد بود.

$$\pi_V = \frac{\frac{\rho^V}{V!}}{\sum_{i=0}^V \frac{\rho^i}{i!}} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (9)$$

به طور میانگین برای تعداد  $\pi_V \lambda$  تماس کانالی نیست، و این تماس دچار انسداد (Blocking) خواهند شد.

## انواع ترافیک

❶ ترافیک ایجابی (Offered Traffic) : این مفهوم یک ترافیک فرضی را در نظر می‌گیرد که توسط تماس در شبکه ایجاد می‌شود.

❷ ترافیک حمل‌شده (Carried Traffic) : مقدار ترافیکی است که شبکه به آن‌ها خدمت (Service) خواهد داد. مبادله موفقیت‌آمیز.

❸ ترافیک ازدست‌رفته (Lost Traffic) : میزان ترافیکی است که خدمات دریافت نمی‌کنند، و شبکه نمی‌تواند آن‌ها را مبادله کند.

$$\text{Offered Traffic} = \text{Carried Traffic} + \text{Lost Traffic}$$

👉 برای محاسبه میزان Offered load می‌بایست مقادیر بدست آمده را در رابطه ۹ قرار داده.

❶ محاسبه رابطه ۹ به صورت مستقیم.

❷ استفاده از محاسبه‌گرهای Erlang. به عنوان مثال می‌توانید به سایت‌های زیر رجوع کنید.

- <http://sydney.edu.au/engineering/it/~dcorbett/erlang.cgi>
- <http://www.math.vu.nl/~koole/ccmath/ErlangC/index.php>
- <http://www.cas.mcmaster.ca/~qiao/publications/erlang/newerlang.html>

محاسبه بار ایجابی (Offered Load):

$$\begin{aligned}\text{Offered load} &= \{ \text{Erlang-B table for } \# \text{ resources} = 60 \text{ and } \mathbb{P}[\text{CallBlocking}] = 0.01 \} \\ &= 46.9 \left[ \frac{\text{Erlangs}}{\text{sector}} \right] \quad (10)\end{aligned}$$

همه این حجم ترافیک با موفقیت همراه نخواهد بود.

$$\begin{aligned}\text{Carried Traffic} &= \text{Offered load} \times (1 - \mathbb{P}[\text{CallBlocking}]) \\ &= 46.9 \times .99 = 46.431 \left[ \frac{\text{Erlangs}}{\text{sector}} \right] \quad (11)\end{aligned}$$

📞 برای محاسبه مقدار  $\lambda$  می‌بایست مقدار بدست آمده در رابطه قبل را در مقدار نرخ زمان بر خوانی (Holding Time) ضرب کنیم.

$$\text{Offered load} = \frac{\lambda}{\mu} \implies \lambda = 46.9 \times \mu = \frac{46.9}{3.5} = 13.4 \left[ \frac{\text{Call}}{\text{sec}} \right] \quad (12)$$

این عدد بدان معنا است که به صورت میانگین 13.4 تماس در هر ثانیه انجام می‌پذیرد.

توجه

تمامی این تماس‌ها با موفقیت همراه نمی‌شوند و تنها 13.266 با موفقیت خدمات‌دهی می‌شوند،

چرا که داریم.

$$\lambda \times [1 - \mathbb{P}(\text{Call blocking})] = 13.4 \times (1 - 0.01) = 13.266 \left[ \frac{\text{Call}}{\text{sec}} \right] \quad (13)$$

📞 به صورت میانگین تعداد 0.134 تماس در هر ثانیه با ناموفقیت همراه خواهد بود.



- [1] J. F. Kurose and K. W. Ross. *Computer Networking: A Top-down Approach*. Always learning, Pearson, 2013.
- [2] P. Lescuyer and F. Bott. *UMTS: Origins, Architecture and the Standard: Its Origins, Architecture and the Standard*. Bailliere's Clinical Neurology, Springer London, 2004.

## A

AM . . . . . Acknowledged Mode

ARQ . . . . . Automatic Repeat Request

AS . . . . . Access Stratum

## B

BCCH . . . . . Broadcast Control Channel

BCH . . . . . Broadcast Channel

## C

CCCH . . . . . Common Control Channel

## D

DCCH . . . . . Dedicated Control Channel

DL-SCH . . . . . Downlink Shared Channel



DTCH . . . . . Dedicated Traffic Channel

## E

ECM . . . . . Electronic Countermeasure

EMM . . . . . EPS Mobility Management

eNodeB . . . . . Evolved NodeB

ESM . . . . . EPS Session Management

E-UTRAN . . . . . Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

## G

GMM . . . . . GPRS Mobility Management

GPRS . . . . . General Packet Radio Service

GSM . . . . . Global System for Mobile Communication

GUTI . . . . . Globally Unique Temporary Identity

## H

HARQ . . . . . Hybrid Automatic Repeat Request

HPLMN . . . . . Home PLMN

## I

IP . . . . . Internet Protocol

## L

LTE . . . . . Long Term Evolution

## M

MAC . . . . . Medium Access Control

MBMS . . . . . Multimedia Broadcast Multicast Service

MBSFN . . . . . Multicast Broadcast Single Frequency Network

MCCH . . . . . Multicast Control Channel

MCH . . . . . Multicast Channel

MIB . . . . . Master Information Block

MM . . . . . Mobility Management

MME . . . . . Mobility Management Entity

MTCH . . . . . Multicast Traffic Channel

N

NACK . . . . . Negative ACK

NAS . . . . . Non Access Stratum

## P

PBCH . . . . .	Physical Broadcast Channel
PCCH . . . . .	Paging Control Channel
PCH . . . . .	Paging Channel
PDCCP . . . . .	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH . . . . .	Physical Downlink Shared Channel
PDU . . . . .	Protocol Data Unit
PMCH . . . . .	Physical Multicast Channel
PRACH . . . . .	Physical Random Access Channel

PUSCH . . . . . Physical Uplink Shared Channel

PWS . . . . . Public Warning System

## Q

QoS . . . . . Quality of Service

## R

RAB . . . . . Radio Access Bearer

RACH . . . . . Random Access Channel

RF . . . . . Radio Frequency

RLC . . . . . Radio Link Control

RRC . . . . . Radio Resource Control

## S

SAP . . . . . Service Access Point

SDCCH . . . . . Standalone Dedicated Control Channel

SDU . . . . . Service Data Unit

SIB . . . . . System Information Block

## T

TCH . . . . . Traffic Channel

TM . . . . . Transparent Mode

TTI . . . . . Transmission Time Interval

## U

UE . . . . . User Equipment

UL-SCH . . . . . Uplink Shared Channel

UM . . . . . Unacknowledged Mode

UMTS . . . . . Universal Mobile Telecommunications System



USIM . . . . . Universal Subscriber Identity Module

V

VPLMN . . . . . Visited PLMN

## واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

### B A

Bandwidth . . . . .	پهنای باند	Access Class . . . . .	کلاس دسترسی
Bidirectional . . . . .	دوسویه	Authentication . . . . .	احراز اصالت
Blocking . . . . .	انسداد	Air Interface . . . . .	واسط هوایی
Broadcast . . . . .	همه‌پخشی	Application Layer . . . . .	لایه کاربرد
		Architecture . . . . .	معماری

C سطح کنترلی . . . . . Control Plane

هسته شبکه . . . . . Core Network

## D

لایه پیوند داده . . . . . Data Link Layer

کانال اختصاصی . . . . . Dedicated Channel

کانال کنترلی اختصاصی . . . . . Dedicated Control

واتافتگری . . . . . Demultiplexing

پیوند فروسو . . . . . Downlink

تماس . . . . . Call

ترافیک حمل شده . . . . . Carried Traffic

سلول . . . . . Cell

جستجوی سلول . . . . . Cell Search

پوشش . . . . . Coverage

کانال عمومی . . . . . Common Channel

شبکه رایانه‌ای . . . . . Computer Network

الحاق . . . . . Concatenation

پیکربندی . . . . . Configuration

Frequency Reuse . . . . . باز مصرف فرکانسی

## E

## H

Exponential Distribution . . . . . توزیع نمایی

Header . . . . . سر بسته Emergency Call . . . . . تماس اضطراری

Holding Time . . . . . زمان برخوانی Emergency Service . . . . . خدمت اضطراری

Encryption . . . . . رمز گذاری

Error Correction . . . . . تصحیح خطا

## I

Identification . . . . . شناسایی

## F

Incoming Call . . . . . تماس ورودی

Frequency Band . . . . . باند فرکانسی

## M

Management Plane . . . . . سطح مدیریتی

Measurement . . . . . اندازه گیری

Medium . . . . . رسانه

Medium Access Layer . . . . . لایه دسترسی به رسانه

Multicast . . . . . چندپخش

Mobility . . . . . تحرک پذیری

MobilityManagement . . . . . مدیریت تحرک پذیری

## K

Key Management . . . . . مدیریت کلید

## L

Link Adaption . . . . . تطابق پیوند

Logical Channel . . . . . کانال منطقی

Lost Traffic . . . . . ترافیک ازدست رفته

## P

Paging ..... پی جویی

Physical Channel ..... کانال فیزیکی

Physical Layer ..... لایه فیزیکی

Power Control ..... کنترل توان

Protocol Stack ..... پشته پروتکلی

## Q

Query ..... پرسش

## N

Network Layer ..... لایه شبکه

## O

Offered Load ..... بار ایجابی

Offered Traffic ..... ترافیک ایجابی

Omnidirection ..... تمام جهته

Operator ..... عملگر

R دنباله ترتیبی . . . . . Sequence Number

خدمت . . . . . Service

مدیریت نشست . . . . . Session Management

اطلاعات سامانه . . . . . System Information

سیگنال دهی . . . . . Signaling

بهره طیفی . . . . . Spectral Efficiency

حالت . . . . . State

دسترسی تصادفی . . . . . Random Access

ثبت شده . . . . . Registered

نسخه . . . . . Release

منبع . . . . . Resource

تخصیص منابع . . . . . Resource Allocation

## S

## T

شبکه مخابراتی . . . . . Telecommunication Network

زمان بندی . . . . . Scheduling

بخش بندی . . . . . Segmentation

Tracking . . . . . رهگیری

Transparent . . . . . شفاف

Transport Block . . . . . بلوک انتقال

Transport Channel . . . . . کانال ترابری

Transport Layer . . . . . لایه انتقال

## U

Unidirectional . . . . . تک‌سویه

Uplink . . . . . پیوند فراسو

User Plane . . . . . سطح کاربر



# واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

## ب

Offered Load . . . . .	بار ایجابی	Authentication . . . . .	احراز اصالت
Frequency Reuse . . . . .	بازمصرف فرکانسی	System Information . . . . .	اطلاعات سامانه
Frequency Band . . . . .	باند فرکانسی	Concatenation . . . . .	الحاق
Segmentation . . . . .	بخش‌بندی	Measurement . . . . .	اندازه‌گیری
Transport Block . . . . .	بلوک انتقال	Blocking . . . . .	انسداد
Spectral Efficiency . . . . .	بهره طیفی		

پرسش	Query	حرک پذیری	Mobility
پشته پروتکلی	Protocol Stack	تخصیص منابع	Resource Allocation
پوشش	Coverage	ترافیک ازدست رفته	Lost Traffic
پهنای باند	Bandwidth	ترافیک ایجابی	Offered Traffic
پی جویی	Paging	ترافیک حمل شده	Carried Traffic
پیکربندی	Configuration	تصحیح خطا	Error Correction
پیوند فراسو	Uplink	تطابق پیوند	Link Adaption
پیوند فروسو	Downlink	تک سویه	Unidirectional
		تماس	Call
		تماس اضطراری	Emergency Call

چ Incoming Call . . . . . تماس ورودی

Multicast . . . . . چندپخشى Omnidirection . . . . . تمام جهته

Exponential Distribution . . . . . توزیع نمایی

## ح

State . . . . . حالت ث

Registered . . . . . ثبت شده

## خ

Service . . . . . خدمت ج

Emergency Service . . . . . خدمت اضطراری Cell Search . . . . . جستجوی سلول

Holding Time . . . . .	زمان برخوانی	Random Access . . . . .	دسترسی تصادفی
Scheduling . . . . .	زمان بندی	Sequence Number . . . . .	دنباله ترتیبی
		Bidirectional . . . . .	دوسویه

Header . . . . .	سر بسته		
User Plane . . . . .	سطح کاربر	Medium . . . . .	رسانه
Control Plane . . . . .	سطح کنترلی	Encryption . . . . .	رمز گذاری
Management Plane . . . . .	سطح مدیریتی	Tracking . . . . .	رهگیری
Cell . . . . .	سلول		

سیگنال دهی . . . . . Signaling

ک

کانال اختصاصی . . . . . Dedicated Channel

کانال ترابری . . . . . Transport Channel

کانال عمومی . . . . . Common Channel

کانال فیزیکی . . . . . Physical Channel

کانال کنترلی اختصاصی . . . . . Dedicated Control

Channel

کانال منطقی . . . . . Logical Channel

کلاس دسترسی . . . . . Access Class

ش

شبکه رایانه‌ای . . . . . Computer Network

شبکه مخابراتی . . . . . Telecommunication Network

شفاف . . . . . Transparent

شناسایی . . . . . Identification

ع

عملگر . . . . . Operator

کنترل توان . . . . . Power Control م

مدیریت تحرک پذیری . . . . . Mobility Management

مدیریت کلید . . . . . Key Management

مدیریت نشست . . . . . Session Management

معماری . . . . . Architecture

منبع . . . . . Resource

ل

لایه انتقال . . . . . Transport Layer

لایه پیوند داده . . . . . Data Link Layer

لایه دسترسی به رسانه . . . . . Medium Access Layer

لایه شبکه . . . . . Network Layer

لایه فیزیکی . . . . . Physical Layer ن

لایه کاربرد . . . . . Application Layer  
نسخه . . . . . Release

Demultiplexing . . . . . وافتگری

Air Interface . . . . . واسط هوایی

Core Network . . . . . هسته شبکه

Broadcast . . . . . همه پخی