

Ранко Бабић *Кабловске и бежичне широкопојасне телекомуникације*

## Multimedia Communication Technologies

**Ranko Babić**

# **Cable and Wireless Broadband Communications**

(Selected chapters)

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



**Kosovska Mitrovica  
2018**

Ранко Бабић *Кабловске и бежичне широкопојасне телекомуникације*

Мултимедијалне комуникационе технологије

**Ранко Бабић**

# **Кабловске и бежичне широкопојасне телекомуникације**

(одабрана поглавља)

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



**Косовска Митровица  
2018**

## 1. Концепт мреже

Модерно индустријско друштво се ослања на многим мрежама које су од виталног значаја за његово функционисање и постојање. Оне обухватају мреже које се односе на

- транспорт (друмске, железничке, ваздушне и водне)
- пренос енергије (електрицитет, гас, нафта)
- воду (водоснабдевање и отпадне воде)
- информације (обрада, пренос и складиштење информација) као информационо телекомуникационе (ИТ) мреже
- све друге мреже којима се може изразити начин повезивања између одговарајућих ентитета (види Додатак 1.2).

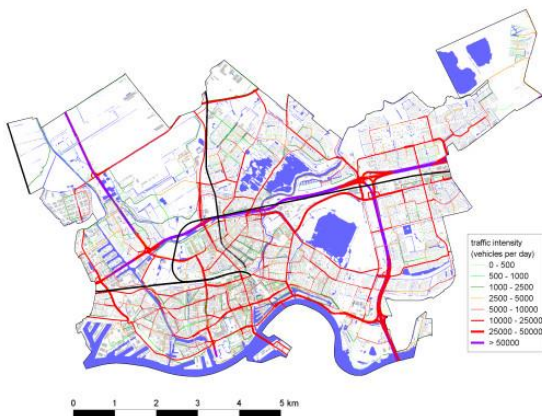
Поменуте категорије мрежа омогућавају преношење и дистрибуцију наведених ресурса до (и од) милиона појединаца на различитим местима чиме се остварују предуслови за успешан живот заједнице.

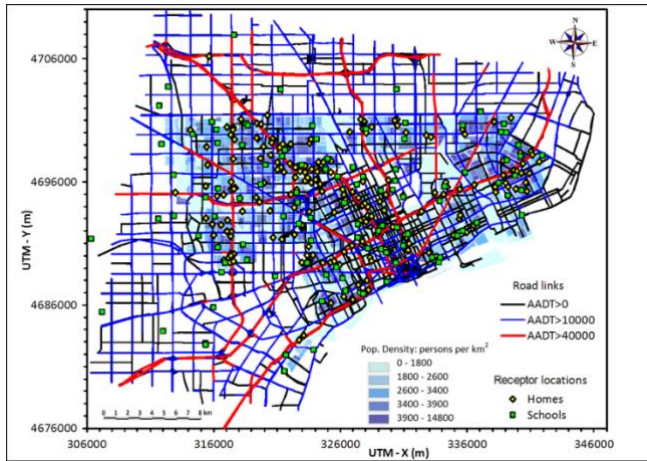
Неизоставан супстрат наведених мрежа су припадне ИТ мреже које служе за регулисање њиховог рада. Уопште, ИТ мреже су суштински фактор и предуслов свих врста друштвених и економских активности.

ИТ мреже су веома комплексне јер су обрада и пренос информација толико испреплетани да не омогућавају јасно сагледавање тих процеса. Зато ћемо у уводу проучити телефонску телекомуникациону мрежу.

Поменуте категорије мрежа су специфичне у погледу начина на које повезују кориснике као и начина како "доносе" услугу до њега

### 1.1 Видови мрежа





Сл.1.1. A map of the study area showing the road network, traffic intensities,

and residences (на [https://www.researchgate.net/figure/40759010\\_fig1\\_Map-of-the-study-area-Rotterdam-North-showing-the-road-network-and-traffic-intensities](https://www.researchgate.net/figure/40759010_fig1_Map-of-the-study-area-Rotterdam-North-showing-the-road-network-and-traffic-intensities)) (десно: [https://www.researchgate.net/figure/295857498\\_fig1\\_FIGURE-1-Map-of-modeled-road-network-in-Detroit-area-containing-9701-links-and](https://www.researchgate.net/figure/295857498_fig1_FIGURE-1-Map-of-modeled-road-network-in-Detroit-area-containing-9701-links-and)



Сл.1.2 Мрежа улица централног дела Лондона. Улога улица је да омогуће доступ из сваке куће/стана до јединствене мреже улица.

Проучавање путне мапе неке државе показује очигледну разлику између мреже путева који повезују насеља и мреже улица унутар насеља (Сл.1.1, Сл.1.2). Посебно су занимљива чворишта путне мреже, као места укрштања путева. У том смислу посебно су занимљива чворишта у великим градовима (Сл.1.3).

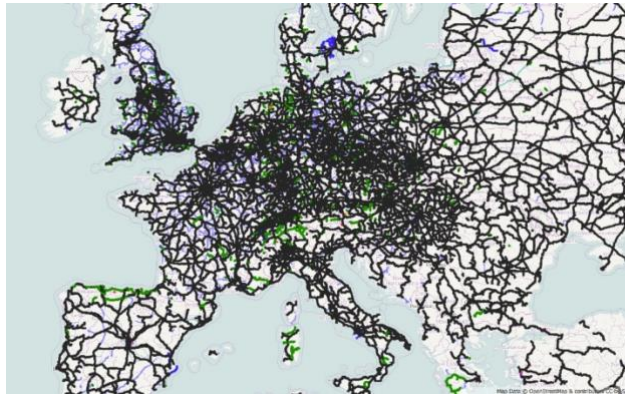
Сл.1.3 Типичне конфигурације великих раскрсница (петљи, "шпагета") у великим градовима представљају вишеспратна укрсна места, или права комутациона чворишта која се могу третирати формализовано и као комутатори са великим бројем улаза и излаза.



Проучити чланак на страници <http://www.geogsci.com/article/2015/1009-637X/23016>, Chengjin WANG, César DUCRUET, Wei WANG. Evolution, accessibility and dynamics of road networks in China from 1600 BC to 1900 AD[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(4): 451-484



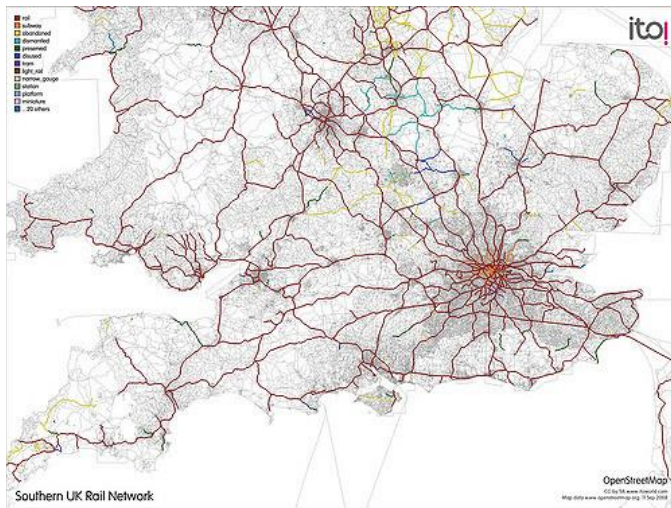
Ако велико чвориште са Сл.1.3 третирамо као комутациони систем са више улаза и излаза који је специфичан по томе што сами објекти комутације изводе комутацију сами, чиме постају субјекти комутације, а на основу система потоказа ((видети Додатак 1.1)).



Сл.1.4 Map of railways in Europe with main operational lines shown in black, [heritage railway](#) lines in green and former routes in light blue [https://en.wikipedia.org/wiki/Rail\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport).

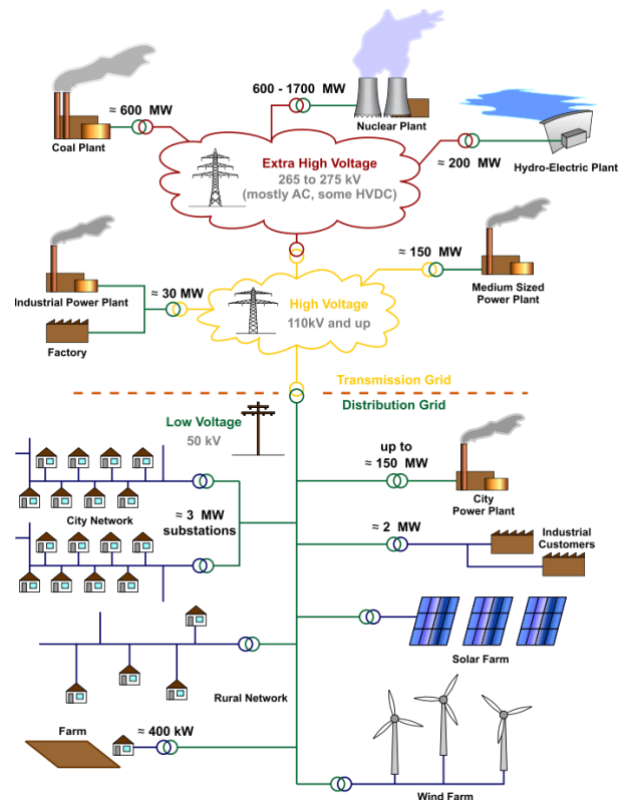
Десно је показано разграњавање колосека у железничкој станици.

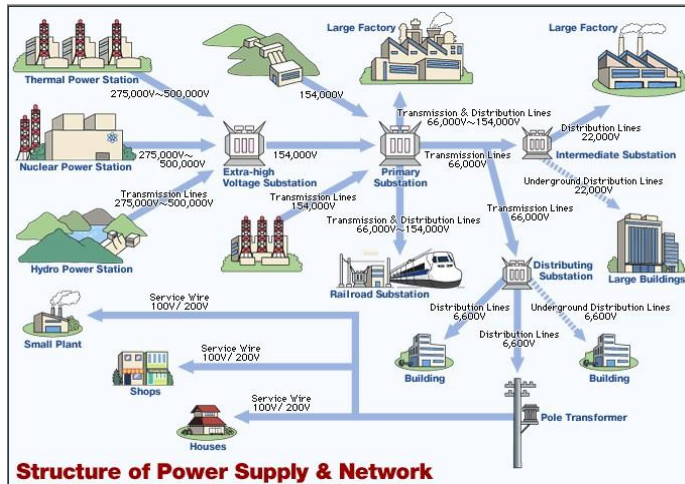
Железничка мрежа је специфична у односу на друмску јер је возилима предодређено да се крећу само по шинама, при чему постоји и огромна разлика у носивости. У овом случају не постоји мрежа у насељима слична путној (Сл.1.4, 1.5).



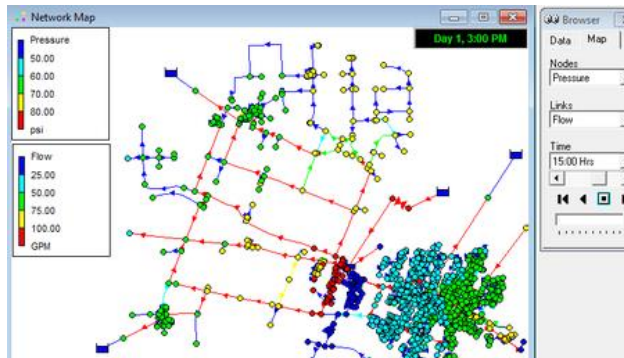
Сл.1.5 Детаљна мрежа железничких пруга у јужној Енглеској одсликава начин повезивања тачака (насеља) железничким транспортом.

Електроенергетска мрежа повезује постројења за производњу електричне енергије са потрошачима, који се налазе по читавој територији неке државе. Посебно су густе мреже за снабдевање у урбаним срединама (Сл.1.6).





Сл.1.6 Ове слике пружају тек провизорну представу о комплексности електроенергетске мреже. Може се рећи да је њен структурно најпростији део онај који иде од постројења за производњу (електричних централа свих врста) и транспорт (мреже далековада и припадних трафостаница, нпр до нивоа 35 kV). Одатле се, посебно према урбаим подручјима, разграђава врло сложена мрежа која иде до сваког потрошача (свих категорија) (увеличати слику ради проучавања детаља)

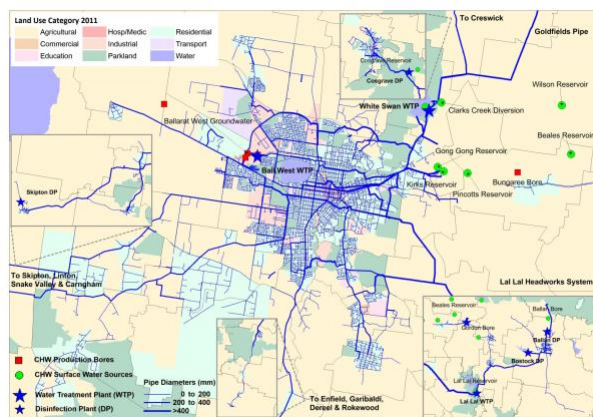


Постоје велике разлике у начину функционирања мрежа у зависности шта испоручују корисницима.

Сл.1.7 Изглед мреже водоснабдевања са приказаним притисцима и протоком (на: <http://www.fzingenieros.es/en/abastecimiento-de-agua-potable/>) (увеличати слику при проучавању)

Мрежа водоснабдевања свим корисницима испоручује једнак ресурс тако да нема посебних корисничких линија или канала од центра испоруке. Све водоводне цеви у становима неке

зграде су повезане на исту цев а ова на уличну доводну цев и тд. Слично је и са електричном



Сл.1.7a Example for water supply networks and land use catchments (на: <http://urbanwatercyclesolutions.com/networkcatchment/>)

мрежом где је читава инсталација у стану спојена на доводне проводнике а сви они на довод у зграду. Тако да се једна вода и једна струја просто разводи до тачака коришћења - славина и утичница.

За разлику од тога телефонска мрежа мора да пружи појединачну услугу јер се корисници повезују у паровима, иако потенцијално сваки може да се повеже са сваким. То је израз начина на који људи најчешће комуницирају. С друге стране,

постоји и комуникација слична снабдевању водом или струјом а то је радио (ТВ) дифузија где се исти садржај испоручује корисницима. Међутим, у овом случају не постоји материјални довод (водоводне цеви или проводници до станова).

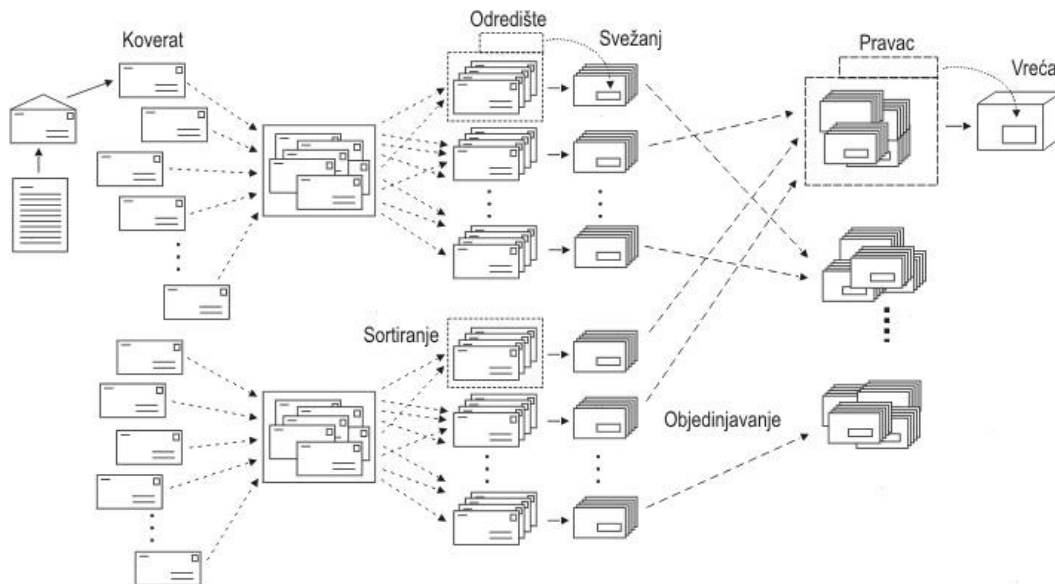
## 1.1.2 Мрежа поштанског система

Поштански систем служи за пренос писаних порука – писама (не разматрамо пренос пакета). Пошто се за пренос порука користи материјални носилац морају се употребити транспортна средства. Зато је поштански систем неодвојив од транспорта (друмског, железничког, авионског, **пешак**).

Поштански систем је врло сложен и функционално разуђен. Овде ћемо дати његов поједностављен приказ.

Ради што веће доступности корисницима, сваки мањи град или квартал већег града има пошту где сваки корисник може да донесе и „баци писмо“. Поштански сандучићи следе исти принцип.

Поштански систем може користити свако ко зна да пише, неписменима помажу писмени посредници.



**Сл. 1.8** Поједностављена шема функционисања поштанског система. Укрштеним испрекиданим линијама са стрелицама означена је мануелно сортирање писама у свежњеве и свежњева у поштанске вреће.

Писмо се мора непосредно однети у пошту, адекватно опремљено (адресирано) да као самосталан ентитет може посредством поштанског система стићи до свог одредишта. Одступање у том смислу изазива неправилно функционисање система и губитак писма.

Пошто садржај и обим информација у самом писму јако варира и редовно је недовољан за тачну испоруку, поштански систем, уз обезбеђивање херметичности садржаја писма, налаже припрему сваког писма на одговарајући начин пре него уђе у сам систем.

Зато се за пренос писма користи коверта на којој се по прописаним правилима стављају координате (адресе) примаоца и пошиљаоца. Пошто се они налазе у простору потребне су минимално три координате, град, улица, број, мада су честе и додатне - држава, регија, спрат, стан.

Тако писми постаје потпуно самосталан објекат (ентитет) преноса, и, фигуративно речено, да се нађе било где на планети, и неко га пронађе и однесе у најближи поштански уред, оно ће посредством поштанског система, тј. поштанске мреже, стићи до примаоца.

Писма са достављене гомиле се сортирају по одредиштима (Сл. 1.8). Како се њихов пренос обавља саобраћајем, мора се водити рачуна о сливању праваца траса транспорта између градова. Зато се

приликом сортирања писама она групишу по крајњим одредиштима у свежњева. На сваки свежањ се ставља одредишна групна адреса.

У главним поштанским центрима врши се обједињавање свежњева из различитих пошта а намењених истим групним одредиштима тако што се они стављају у поштанске вреће. На сваку врећу се ставља ознака транспортног правца и одредишног центра.

Што се тиче самих писама, посебно када је у питању међународна достава писама, не може се од сваког поштара захтевати да зна сва места на свету, или бар у својој земљи. Зато се у адресирање уводе нумерички кодови тако се да се разврставање писама врши по бројчаним ознакама места.

## 1.2 Телекомуникационе мреже

Свака мрежа (железничка, електроенергетска итд.), поготову данас, или има своју сопствену телекомуникациону мрежу или користи услуге постојеће, јавне телекомуникационе мреже. Овде под јавном мрежом подразумевамо телефонску фиксну и мобилну, као и Интернет. При томе треба приметити да поменуте мреже користе исту **основну** мрежну инфраструктуру.

Посматрајући структуру телекомуникационе мреже, уосталом и сваке друге мреже, лако уочавамо велику разлику између њених периферних делова и тзв. језгра мреже које повезује периферију. Периферни делови су јако разгранати, разуђени зато што услугу, па била она вода, струја, пут или телефон, да доведу до свих корисника. Само упоредимо мрежу улица у граду и мрежу путева који повезују поједина насеља.

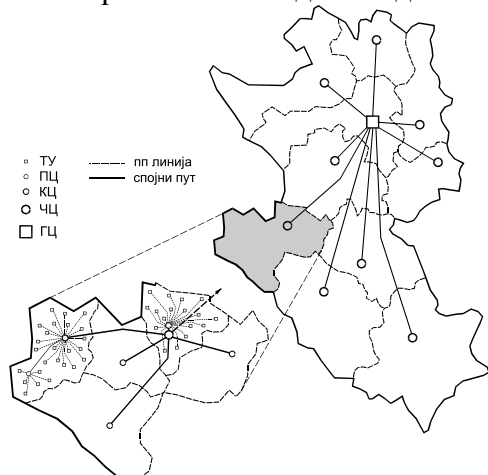
### 1.2.1 Приступна мрежа (Access Network)

Управо зато је периферни део мреже најзахтевнији како у техничком тако и у економском смислу. Периферни део мреже се зове и **приступна мрежа** јер омогућава сваком кориснику да приступи тачки где може да добије услугу коју мрежа нуди.

Тако нпр. код класичне телефонске мреже, где је примењен принцип централизованог повезивања, корисници су својим водовима повезани за локалне централе, ове за централе вишег ранга чиме се долази до телефонске мреже великих подручја, држава па и глобалне

телефонске мреже или телекомуникационе мреже која повезује све централе а преко њих и све кориснике (Сл.1.9). Таква мрежа се одликује **хијерархијом** централа (комутационих система).

Према ранијој номенклатури централе на које се везују кориснички уређаји се зову **крајње централе** а њима надређене су **чворне централе**. Продужавајући са овим принципом повезивања долазимо до хијерархијске структуре националне телефонске мреже.

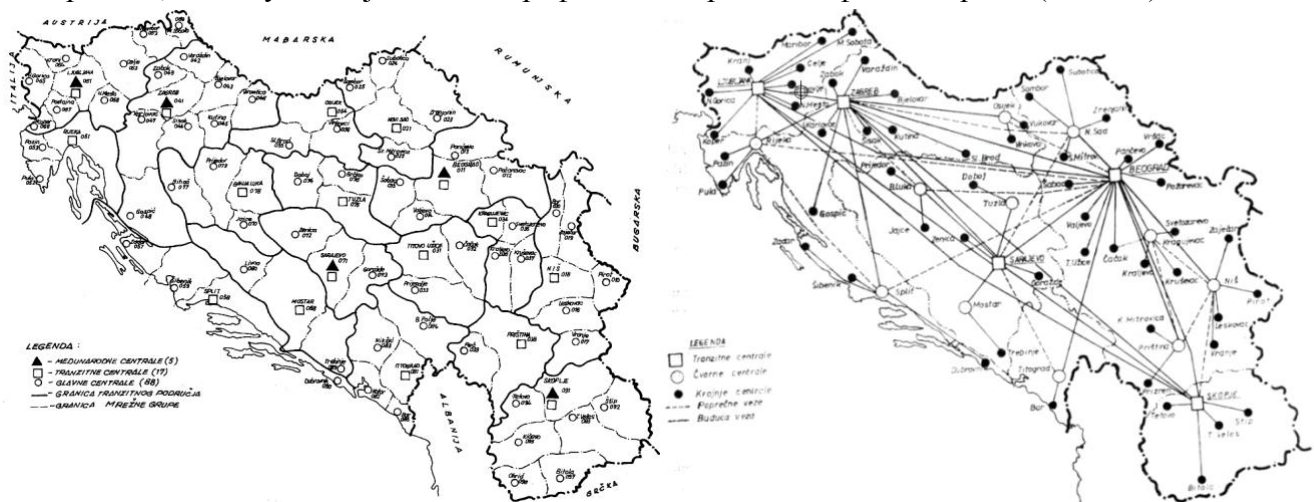


Сл.1.9 Увеличана слика подручја крајње централе (КЦ) показује шематски како су на њу везани крајњи уређаји (ТУ), било директно или преко подцентрале (ПЦ). Неколико КЦ је повезано на чворну централу (ЧЦ) чиме подручја КЦ образују подручје ЧЦ.

Слично томе, неколико ЧЦ је повезано на главну централу (ГЦ) чиме се образује и подручје ГЦ. Спојни путеви представљају телекомуникациону мрежу.



У ранијој фази развоја телекомуникационих мрежа прављене су посебне мреже за поједине услуге. Тако су постојале, одвојено, телефонска мрежа, телеграфска мрежа, са одвојеним централама, мада су постојале и телеграфске везе преко телефонске мреже (Сл.1.10).



Сл.1.10 (лево) Размештај транзитних и главних централа и подела телефонске мреже некадашње СФРЈ на транзитна подручја и мрежне групе према Генералном плану ЗЈПТТ (Заједнице Југословенских ПТТ) из 1983. Ову мапу треба посматрати кроз Сл.1.9 да би се сагледала структура читаве телефонске мреже. (десно) Организација телеграфске мреже у СФРЈ, са ознакама теле-графских централа. Везе између централа су приказане структурно, реалне лиије имају другачије трасе. (увећати слике за преглед детаља)

Почетком '80-тих година 20. века на тржишту ТК услуга издвајала су се три независна сегмента: јавни фиксни телефонски сервис, сервис кабловске ТВ (Cable TV, CaTV), и повезивање рачунара у локалне речунарске мреже, тако да су постојале и три независне приступне мреже.

У овим случајевима лако је идентификовати приступну мрежу - то су корисничке линије од корисничких терминала до места где се услуга пружа (телефонски апарат - кориднички вод - телефонска централа на коју је вод везан). (или канал)

Историјски гледано, приступ различитим мрежама био је покретач економског и друштвеног развоја. Као један од првих примера је раст повезан са ширењем железничког система током 19. века. Лако је пратити развој и раст насеља и градова уз железничку мрежу. Како се железничка мрежа ширила приступ роби и услугама је растао и индустријско друштво се нагло развијало.

Овде треба имати у виду да поменути градови нису били саобраћајно изоловани пре појаве железнице, јер су наравно били повезани друмовима. Међутим, капацитет тадашњег, а и садашњег друмског транспорта био је несравњиво мањи од железничког, како по тонажи робе тако и по броју путника.

'90-тих година, као израз повећаног интересовања корисника за мултимедијалне сервисе, ова три сегмента се обједињују са циљем да се корисницима понуди универзални широкопојасни сервис, преко јединствене приступне мреже.

Управо се овде може направити паралела телекомуникационих мреже са транспортним - ако би телефон и телеграф, као ускопојасни пренос, одговарао друмском саобраћају, тада би железнички саобраћај одговарао широкопојасном универзалном преносу.

Последње две деценије присуствујемо потпуној транзицији економије и друштва са индустријске на информациону основу. Проширујући претходно поређење можемо рећи да је Интернет постао модерни железнички систем, при чему узимамо у обзир увођење

брзих железница, посебно у путничком тако а и у теретном саобраћају (где се конкурише авионском и пловидбеном саобраћају).

Са доласком е-пословања, он-лајн државних услуга, преноса података у реалном времену доживљавамо још један искорак у друштвеном и економско развоју. Управо онако како је железница донела промену у пословној пракси у 19. веку тако данас Интернет најављује не само редефинисање постојећег пословног модела већ повећава приступ информацијама и истински тренутну комуникацију широм света. Оно што је некад (1960-тих) Маршал Маклуан назвао глобалним селом данас је постала стварност.

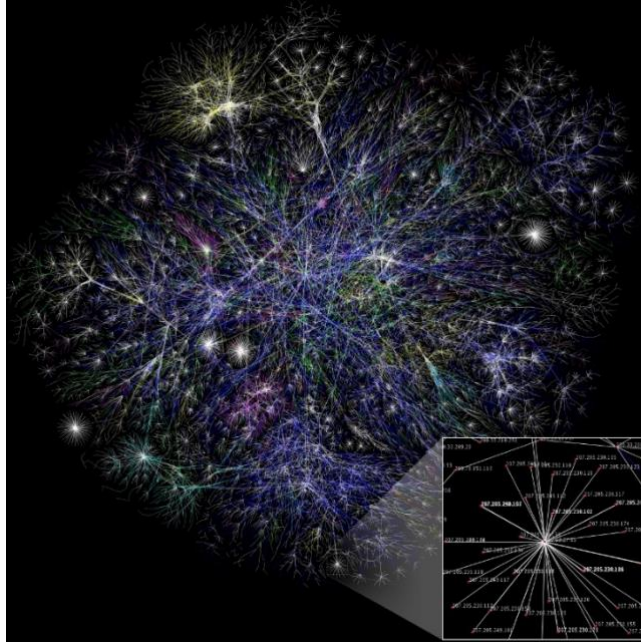
Основа за то су широкопојасне технологије преноса, тј. приступа, и то путем водова - xDSL (Digital Subscriber Line), светловод, тј. FTTx - Fiber To The x (Home, Office, etc) или радио путем - GSM, WiFi, MMDS итд..

Обједињавање сервиса, кроз приступ Интернету, отежава дефинисање приступне мреже, тј. дефинисање тачке у мрежи где се завршава приступ. Сам појам терминалног уређаја, кроз увођење личног рачунара (био он класични рачунар, паметни телефон или паметни ТВ), кроз концепт клијент-сервер апликација, постаје неодређен јер је њему дата значајнија улога у комуникацији него чворовима мреже кроз коју се пренос обавља.



Сл.1.11. (Left) A sample of a mobile phone network studied in [94,95]. After the strong ties have been removed, the network still retains its global connectivity. (Right) Removal of weak ties leads, through a phase transition, to a disintegration of the network. (Figure adapted from [94].)

(<http://www.ams.org/notices/200909/rtx090901082p.pdf> Communities in Networks Mason A. Porter, Jukka-Pekka Onnela, and Peter J. Mucha) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Community\\_structure](https://en.wikipedia.org/wiki/Community_structure))



Сл.1.12 Partial map of the Internet based on the January 15, 2005 data found on [opte.org](http://opte.org). Each line is drawn between two nodes, representing two IP addresses. The length of the lines are indicative of the delay between those two nodes. This graph represents less than 30% of the [Class C](http://www.class.c) networks reachable by the data collection program in early 2005. Lines are color-coded according to their corresponding [RFC 1918](http://www.rfc1918.org) allocation as follows: Dark blue: net, ca, us Green: com, org Red: mil, gov, edu Yellow: jp, cn, tw, au, de Magenta: uk, it, pl, fr Gold: br, kr, nl White: unknown ([https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_topology](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology))

Размере разгранатости показује увеличани део, са интернет адресама. Треба запазити да је мрежа структурна а не физичка па да показује реалне трасе корисничких водова.

Представу о разгранатости мрежа, посебно приступних, стичемо и са Сл.1.11 и Сл.1.12.

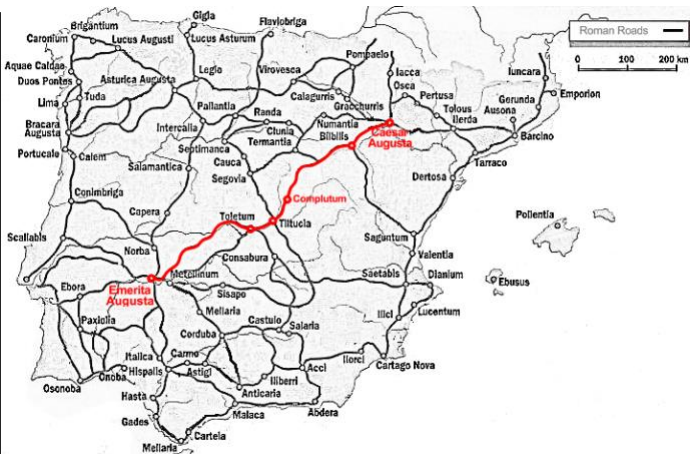
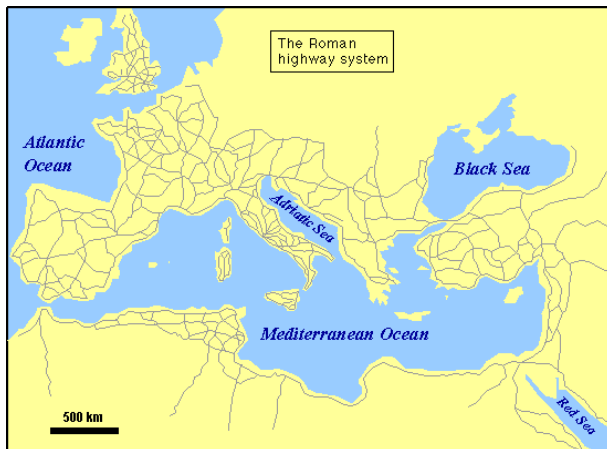
Зато ћемо прво проучити класичне телефонске мреже, како бисмо на њима дефинисали и схватили основне концепте који су својствени

свим мрежама, а који су у њима јасно препознатљиви. Појам приступне мреже неодвојив је од начина функционисања дела мреже који пружа услугу, тако да ћемо проучити и функционисање телефонских централа.

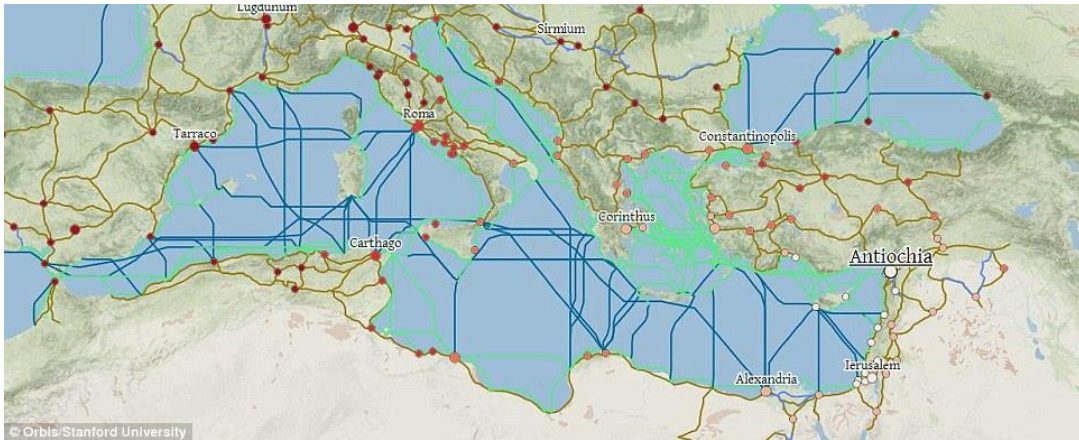
Иначе, проучавање функционисања мрежа тесно је повезано са тзв. системима за масовно послуживање (нпр. низ каса у велетрговинама, наплатна рампа на аутопуту, телефонска централа, сервер, аеродром, аутобуска станица итд.)

## Додатак 1.1

Занимљиво је погледати мрежу главних путева Римске империје јер управљање великим пространством захтева брз транспорт вести, трупа а ту је, наравно и трговина.

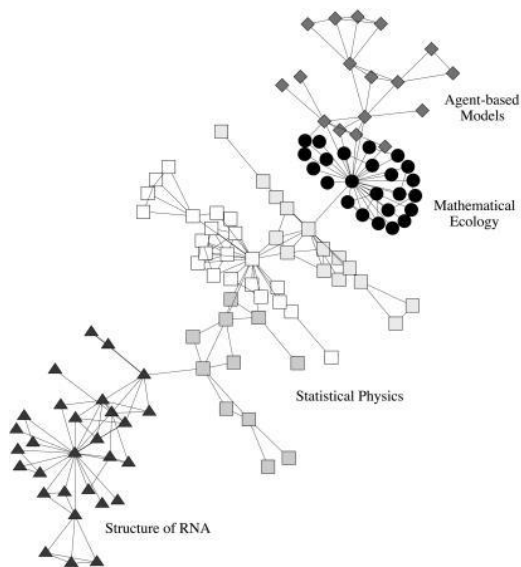






Although it broadly reflects conditions around 200 CE, it also covers a sites and roads created in late antiquity. A total of 301 sites serve as sea ports. The baseline road network covers 52,587 miles (84,631 km) of road or desert tracks, in addition to 17,567 miles (28,272 km) of navigable rivers and canals (pictured) (<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2687371/Google-CAESAR-View-Interactive-map-ancient-Roman-roads-reveal-long-took-cost-travel-CHARIOT.html>)

## Додатак 1.2



The largest component of the Santa Fe Institute collaboration network, with the primary divisions detected by our algorithm indicated by different vertex shapes. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC122977/>)

<http://www.ams.org/notices/200909/rtx090901082p.pdf>