

Рачунарске мреже

Александар Картељ

kartelj@matf.bg.ac.rs

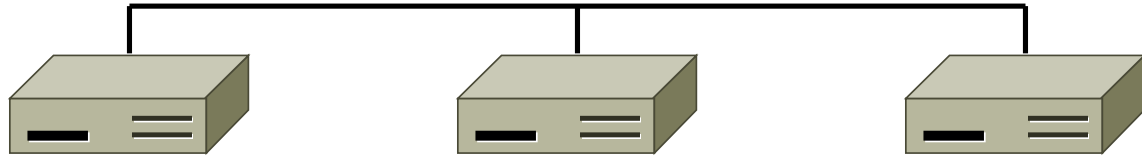
Наставни материјали су преузети од: TANENBAUM, ANDREW S.; WETHERALL, DAVID J., COMPUTER NETWORKS, 5th Edition, © 2011
и прилагођени настави на Математичком факултету, Универзитета у Београду.

Slide material from: TANENBAUM, ANDREW S.; WETHERALL, DAVID J., COMPUTER NETWORKS, 5th Edition, © 2011.

Electronically reproduced by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey

Тема

- Како чворови деле заједнички канал?
Ко када шаље, нпр. у WiFi?
 - Поједностављени модел



- Претпоставка је да не постоји централни чвор, односно нико не види целу мрежу (дистрибуирани систем)

Проблем алокације канала

1. Статичка алокација

- За фиксни канал и саобраћај од N корисника
 - Подели проток коришћењем FDM, TDM, итд.
 - Ово је статичка алокација, нпр. додела FM радио фреквенција
- Статичка алокација је лоша у случају променљивог саобраћаја
 - Корисник или користи саобраћај интензивно, или га уопште не користи

2. Динамичка алокација (MAC протоколи су овде)

- Динамичка алокација даје канал кориснику када му је потребан
- Потенцијално N пута ефикасније за N корисника

MAC подслој

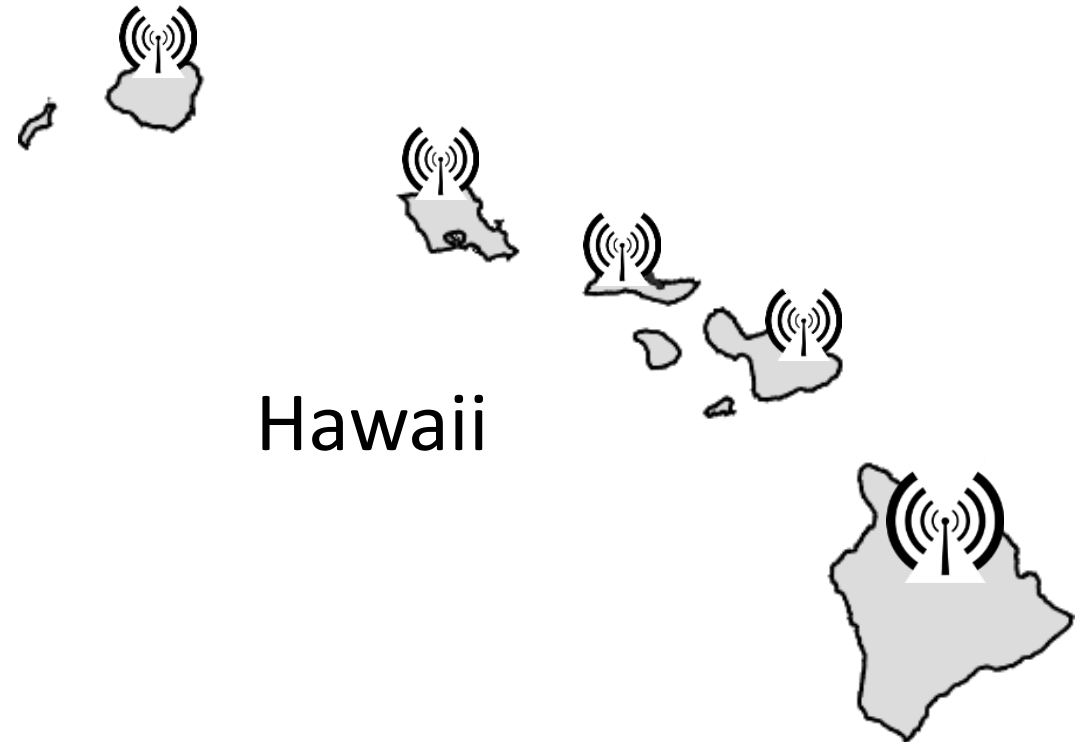
- ALOHA
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
- Протоколи без колизија
- Протоколи без загушења
- Протоколи за бежични LAN (WiFi)

} Класични Етернет

Модерни Етернет користи другачији приступ!
О томе нешто касније...

ALOHA мрежа

- Рачунарска мрежа која је повезивала Хавајска острва крајем 1960-их година
 - Када чвор треба да шаље?



MAC подслој

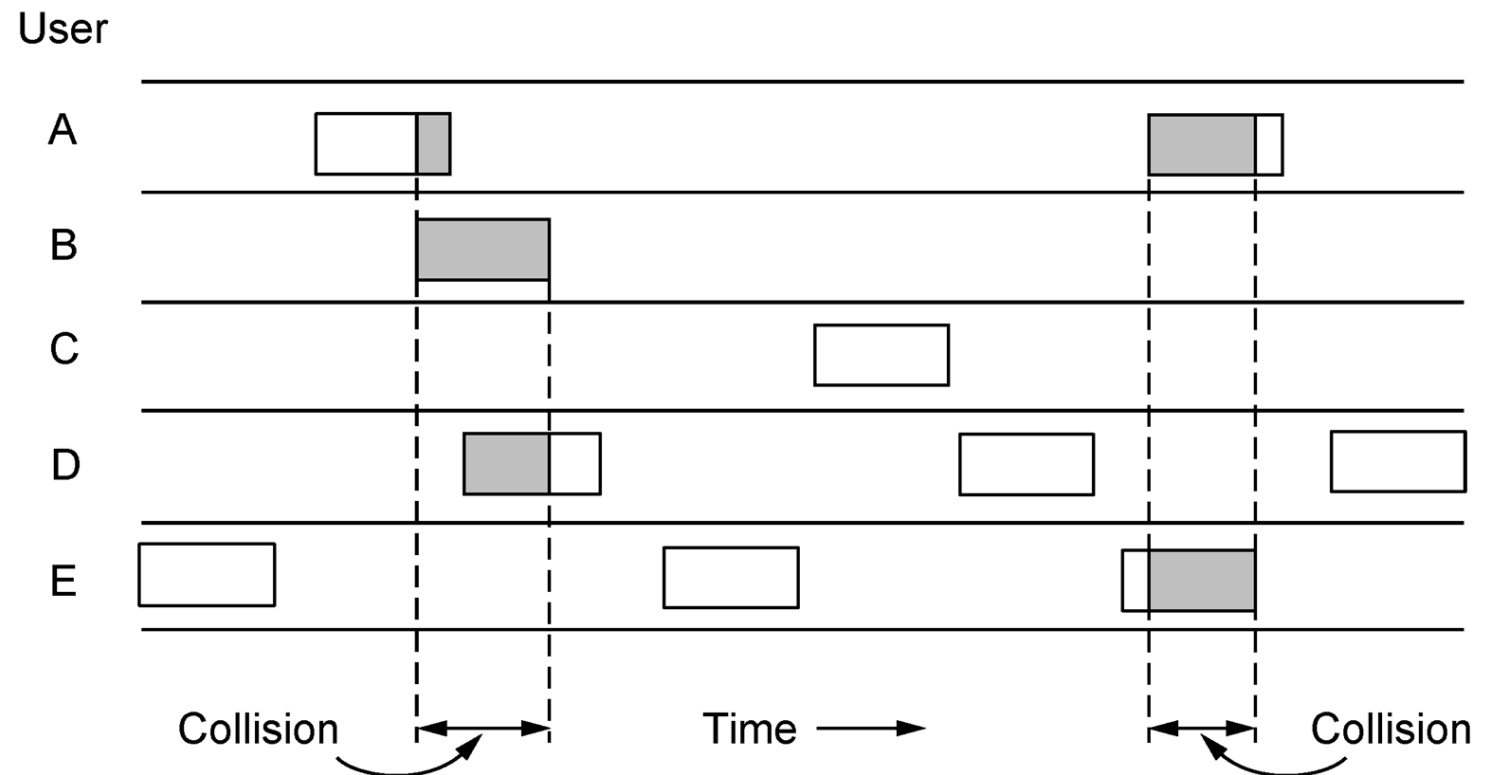
MAC протоколи засновани на случајности

ALOHA протокол

- Једноставна идеја:
 - Чвор шаље када има нешто да пошаље
 - Ако се притом деси колизија (нема АСК), онда се чека случајан интервал времена, па се шаље поново

ALOHA протокол (2)

- Неки оквири ће бити изгубљени, али ће многи доћи на одредиште...
- Да ли је ово добра идеја?

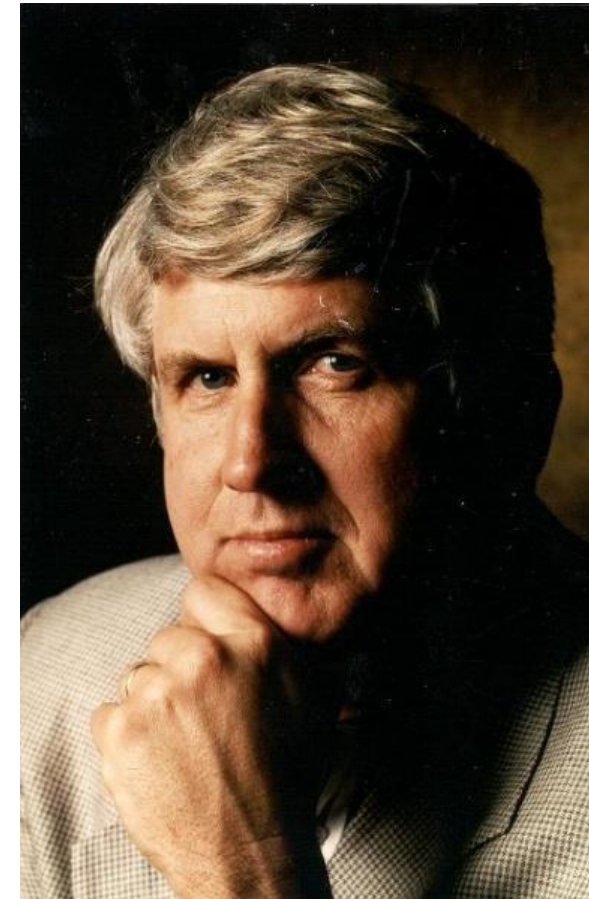
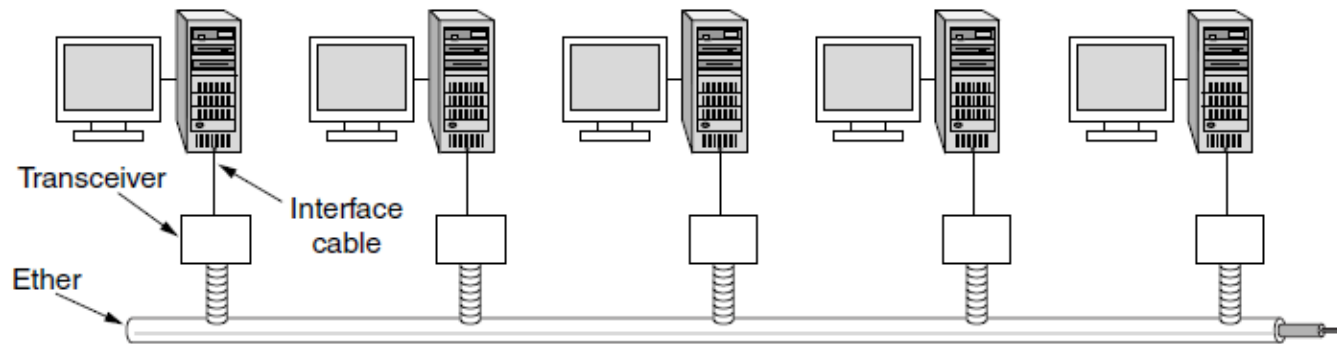


ALOHA протокол (3)

- Једноставн, децентрализован, ради добро ако је мало оптерећење мреже!
- Није ефикасан када је високо оптерећење
 - Експериментално утврђено да је ефикасност свега 18% (само 18 од 100 оквира прође на другу страну)
 - Побољшање: дискретизовати време и онемогућити слање било када - побољшање на 36%
- Биће и других побољшања...

Класични Етернет

- АЛОНА је инспирисала Боба Меткалфа да измисли Етернет за локалне мреже
 - Чворови деле коаксијални кабл протокоа 10 Mb/s



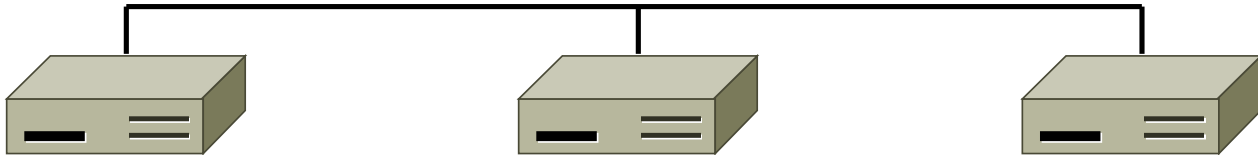
: © 2009 IEEE

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- Побољшање ALOHA ослушкивањем канала пре слања
 - Једноставно код жичаних, али не и бежичних канала
- Да ли ослушкивање елиминира колизије?
 - Ако да, зашто да, ако не, зашто не?

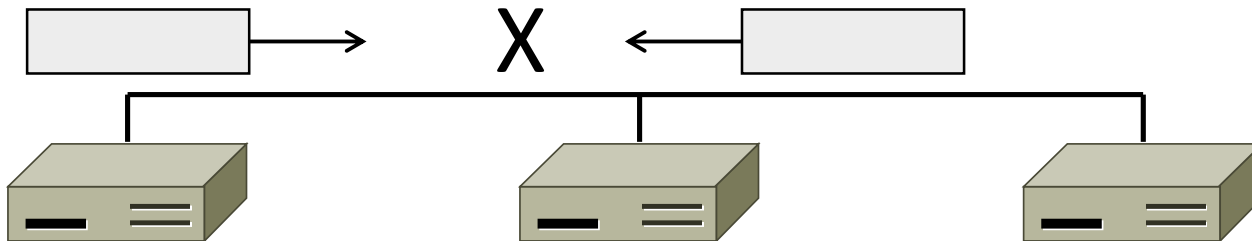
CSMA (2)

- И са ослушкивањем је могуће да слушате, а да не чујете да и неко други шаље (због кашњења)



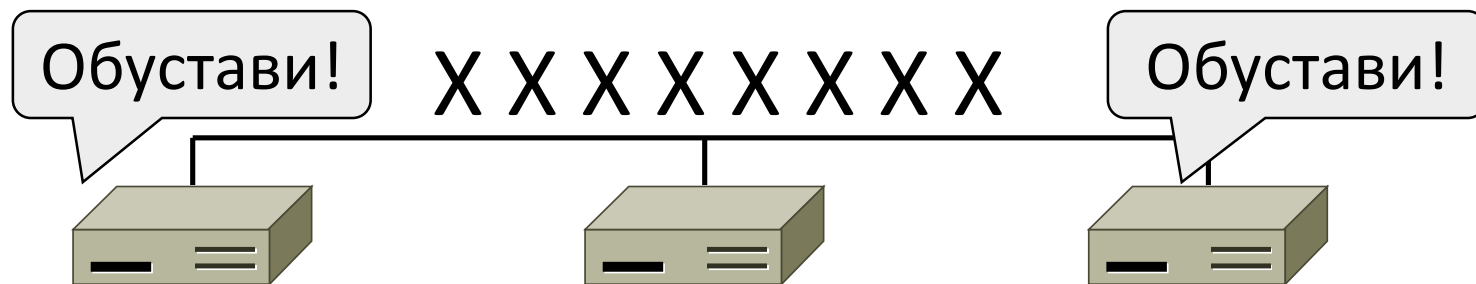
CSMA (3)

- CSMA је добар против колизија ако је BDP мали, зашто?



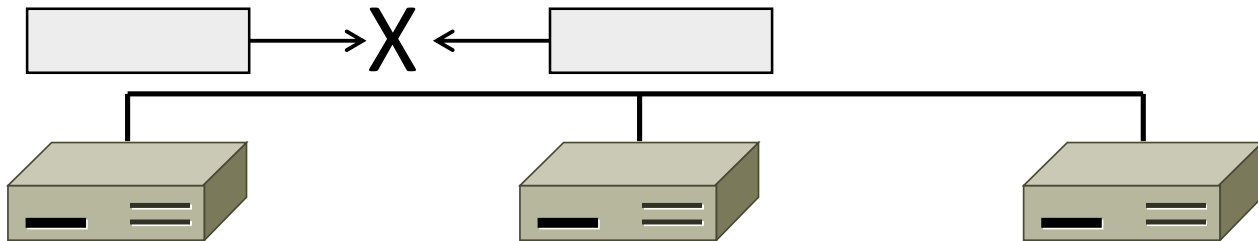
CSMA/CD (са детекцијом колизија)

- Смањује трошак колизија, тако што их детектује и обуставља слање остатка оквира
 - Опет, тешко у случају бежичног канала



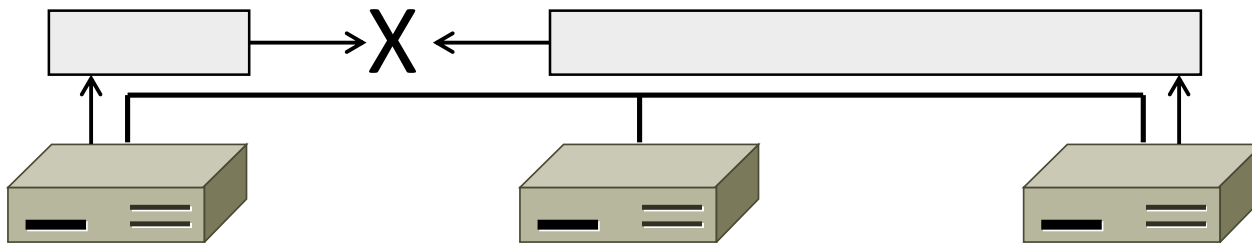
CSMA/CD компликациије

- Желимо да сви који су у колизији то и сазнају
 - Интервал у оквиру којег ће чвор сигурно чути да се десила колизија је 2D секунди, зашто?



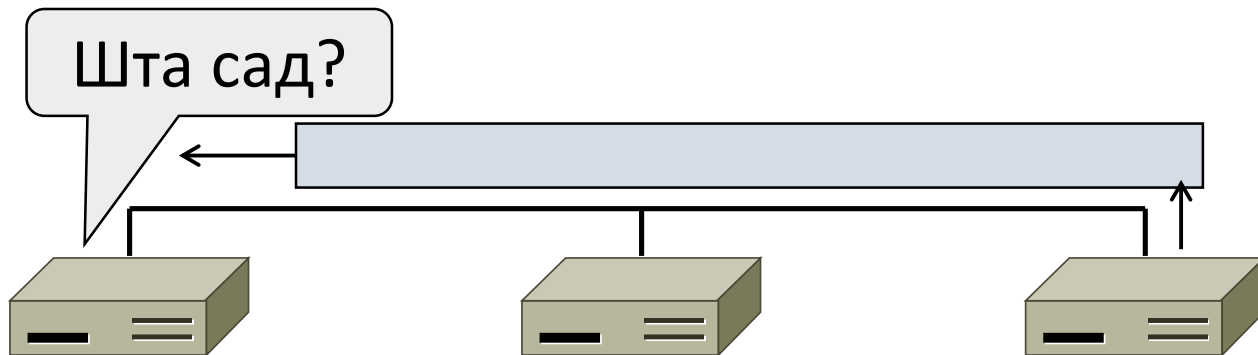
CSMA/CD компликациије(2)

- Решење: ограничити минималну величину оквира тако да траје најмање 2D секунди
 - Тако чвор не може да заврши слање пре него што схвати да се десила колизија
 - Етернет минимална дужина оквира је 64 бајта



CSMA “упорност”

- Шта чвор треба да уради ако неки други чвор шаље?



- Идеја: чекај док не заврши, и онда шаљи, да ли је ово добро?

CSMA “упорност” (2)

- Проблем је да више чворова може да чека, и ако сви крену у исто време, долази до колизије...
 - Што је веће оптерећење и број колизија ће бити већи



CSMA “упорност” (3)

- Интуиција иза бољег приступа
 - Ако има N који чека, сваки шаље са вероватноћом $1/N$
 - Шта је овде проблем?

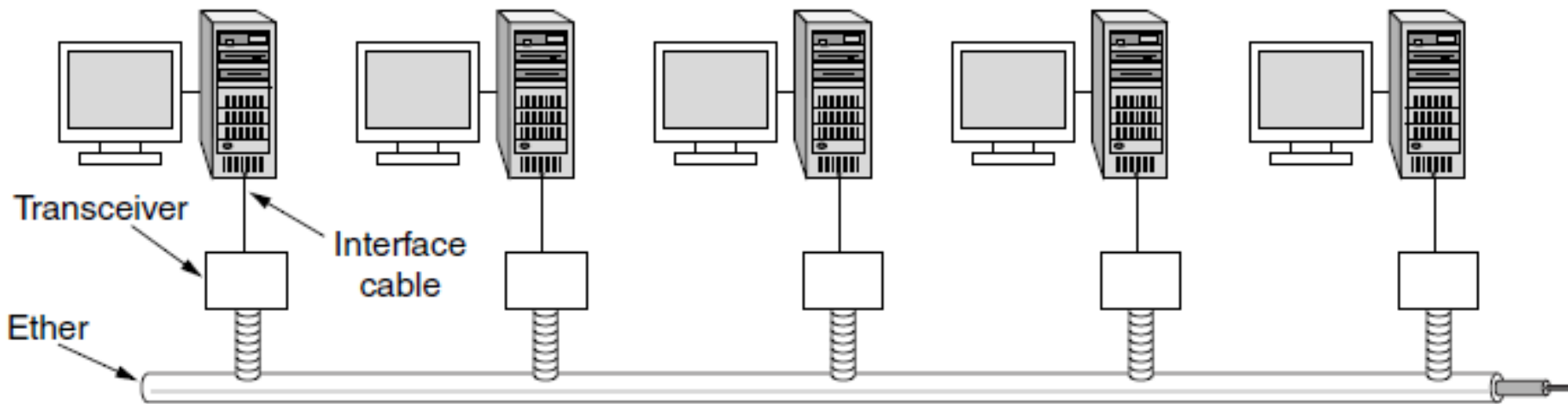


Бинарно експонцијално одлагање (ВЕВ)

- Механизам оцене вероватноће (у дистрибуираном окружењу)
 - Прва колизија, чекај 0 или 1 оквира (екв. време)
 - Опет колизија (друга), чекај између 0 и 3 оквира
 - Трећа колизија, чекај између 0 и 7 оквира ...
- ВЕВ дуплира интервал након сваке узастопне колизије
 - Брзо расте, тако да долази до добре процене, чак иако је вероватноћа јако мала
 - Веома ефикасан у пракси

Класични Етернет - IEEE 802.3

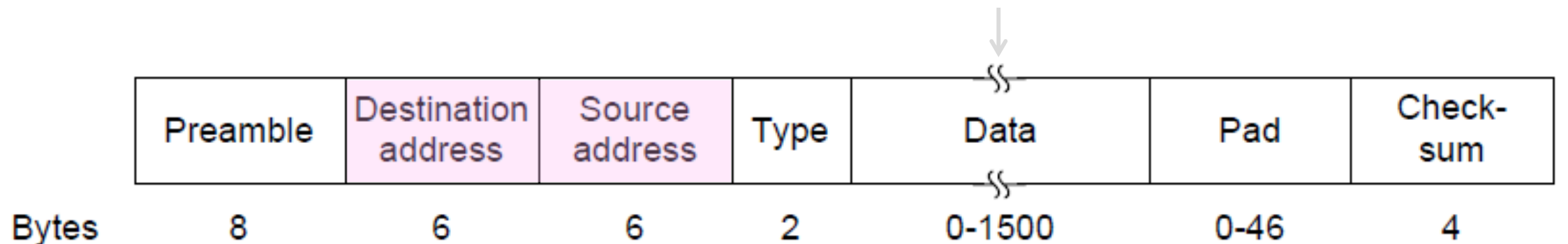
- Најпопуларнији вид организовања LAN током осамдесетих и деведесетих
 - 10 Mb/s преко дељеног коаксијалног кабла
 - Користи “CSMA/CD са BEB”



Етернет – формат оквира

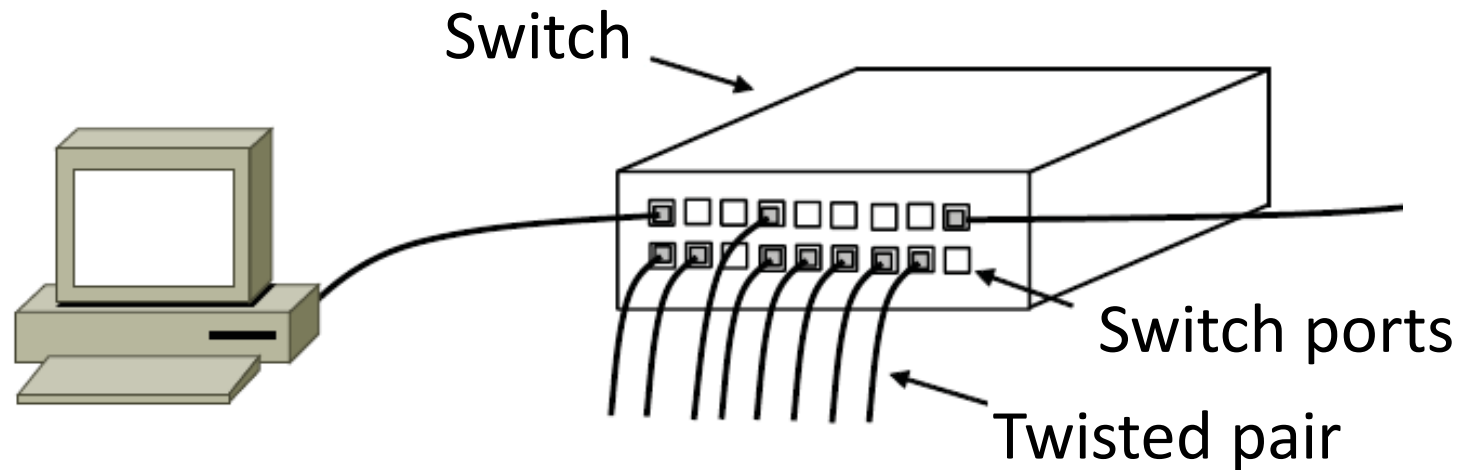
- Адресе пошиљаоца и примаоца
 - Ово нисмо имали раније у слоју везе, јер су протоколи били подразумевано PPP (point to point protocol)
- CRC-32 за детекцију грешака; нема АСК или ретрансмисије, оставља се вишим слојевима

Пакет из мрежног слоја (IP)



Модерни Етернет

- Потпуно други приступ
- Нема дељеног приступа (МАС), већ се користе скретнице (свичеви)
 - Видећемо нешто касније...

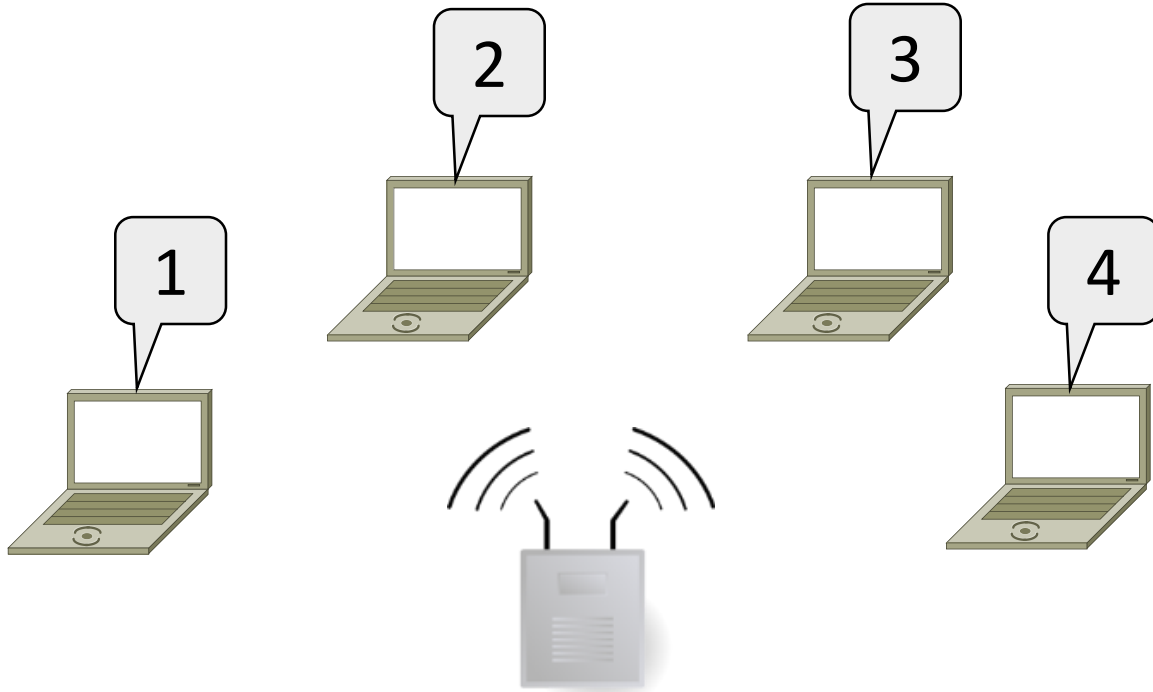


MAC подслој

MAC протоколи засновани на редоследу

Протоколи који не користе случајност

- Другачији приступ за MAC
 - Детерминистички алгоритми,
чворови не користе случајне бројеве



Проблеми протокола који користе случајност

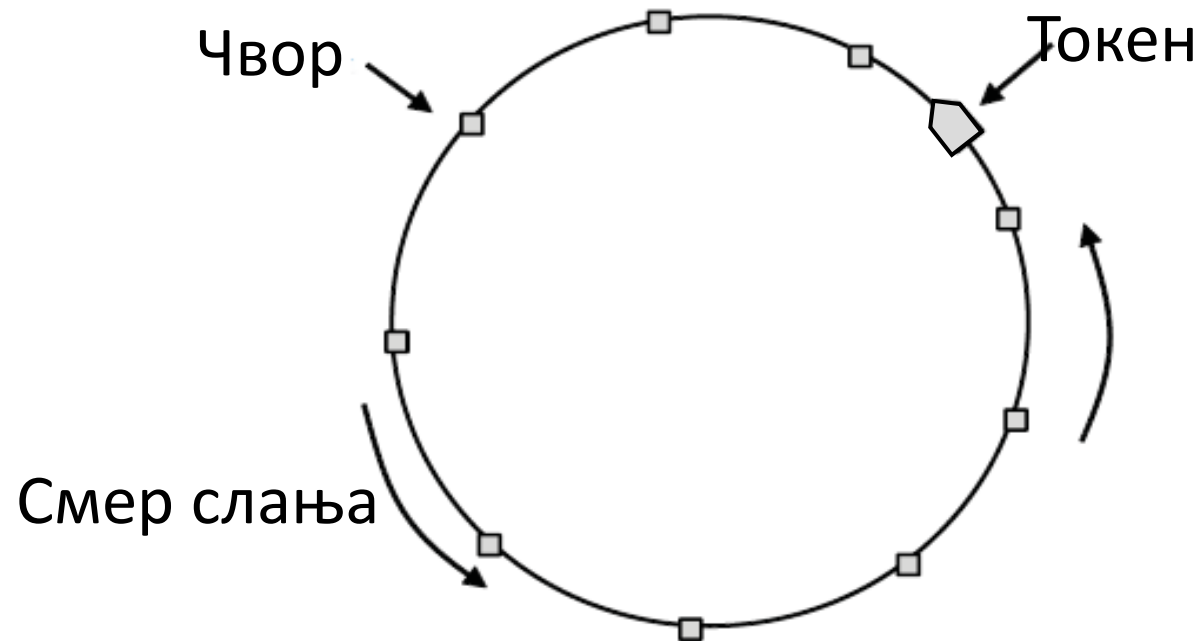
- CSMA је добар под малим оптерећењем:
 - Даје скоро моменталан приступ
 - Мали додатни трошкови оптерећивања канала (због малог броја колизија)
- Лош под високим оптерећењем:
 - Високи додатни трошкови (пуно колизија)
 - Време приступа варира
- Хоћемо протокол који боље ради под високим оптерећењем!

Протоколи базирани на редоследу

- Дефинише се уређење према којем чворови шаљу ако имају нешто да пошаљу
 - Или само пропусте, уколико немају шта да пошаљу
- Како дефинисати уређење ...
 - Према токену који се прослеђује
 - Према вредности адресе

Прстен са токеном (token ring)

- Организујемо чворове у прстен; токен се потом прослеђује у круг
- Само чвор који поседује токен може да шаље



Предности протокола са редоследом

- Унапред одређени додатни трошкови и нема колизија
 - Ефикасније под високим оптерећењем
- Нема „несрећних чворова“
 - Гарантован сервис, сви чворови могу да очекују да ће бити опслужени у неком унапред дефинисаном времену
 - Могуће је гарантовати и различите протоке за различите чворове, како?

Мане протокола са редоследом

- Сложеност
 - Више ствари може да крене наопако!
 - Нпр. Шта ако се изгуби токен? Предлози?
 - Релативно висок додатни трошак при малом оптерећењу

Протоколи са редоследом у пракси

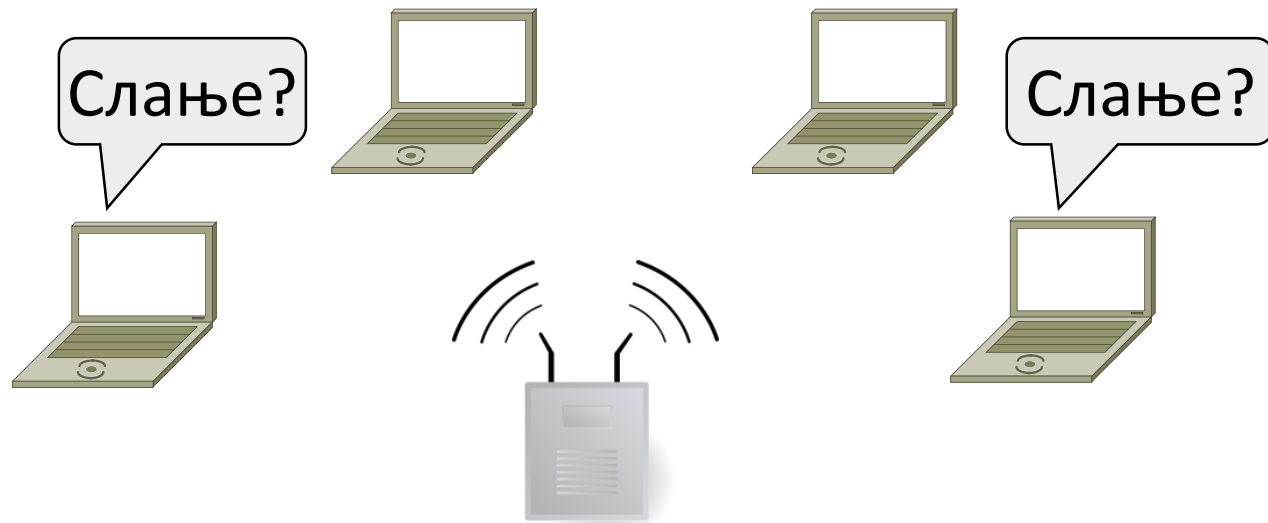
- Обично се испробају као побољшање
- Међутим, протоколи са случајношћу се обично тешко надмашују
 - Једноставни и довољно добри најчешће
 - Добро се проширују на већи број чворова (добро се скалирају)

MAC подслој

MAC протоколи за бежичне мреже

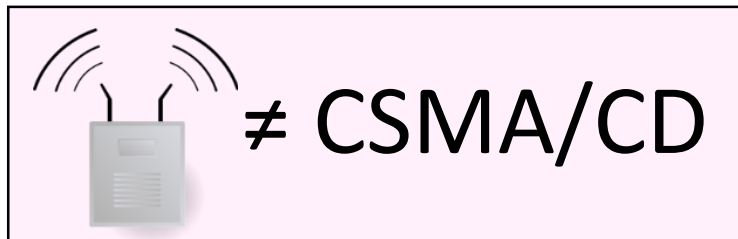
Протоколи за бежичне мреже

- Како бежични чворови деле канал?
 - Надограђујемо основни (жичани) модел



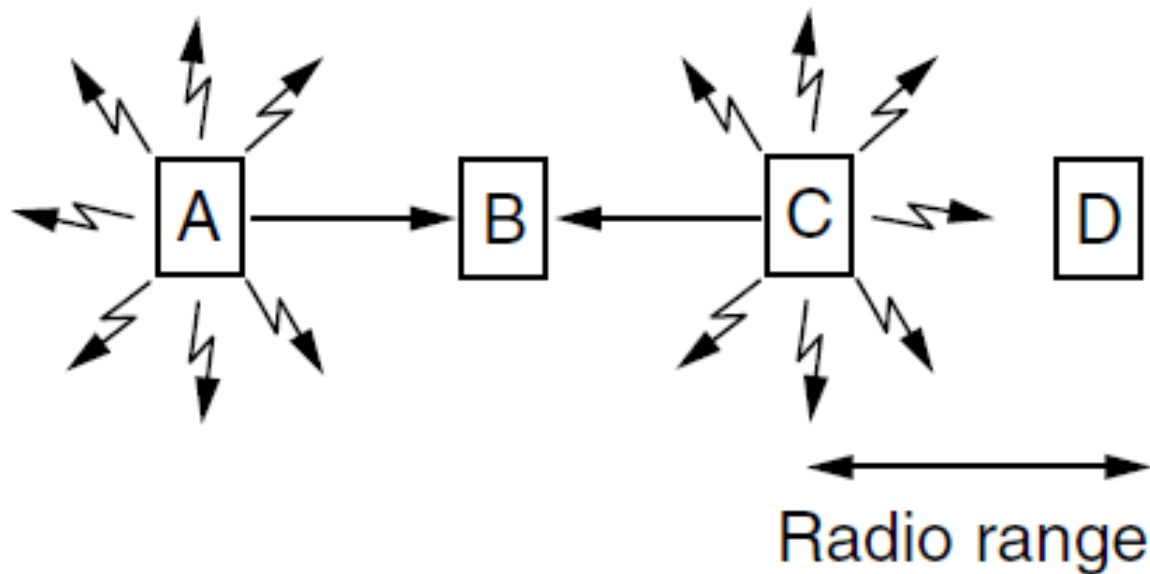
Бежичне мреже - компликациије

- Бежичне су сложеније него жичане и по питању MAC-а
 1. Чворови могу имати различите области покривања. CSMA се не уклапа у ово, зашто?
 2. Чворови не чују док шаљу. CD се не уклапа у ово, зашто?



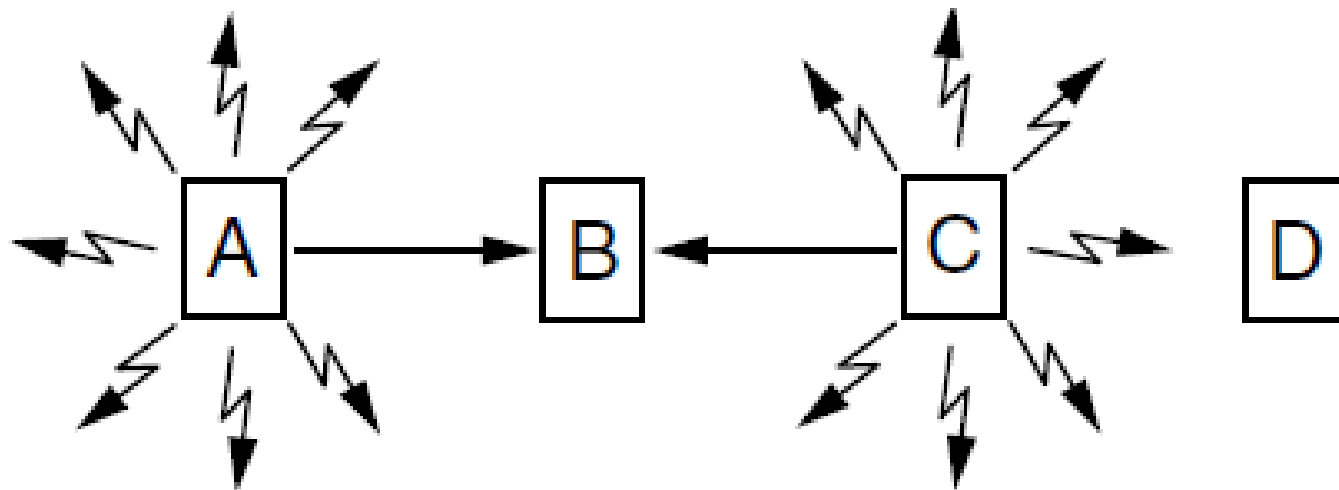
Различите области покривања

- Бежични сигнал се емитује,
а прима само у близини где је довољно велики SNR



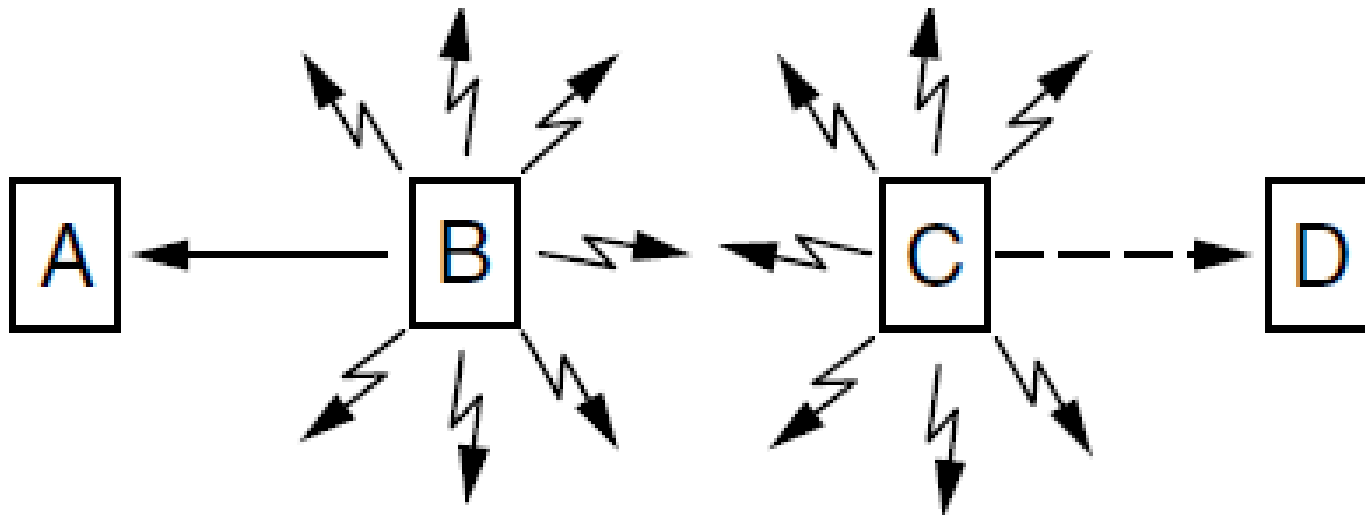
Проблем скривених чворова

- Чворови А и С су скривени чворови када шаљу ка В
 - Не могу да се чују међусобно, па се колизија детектује тек на В
 - Желимо да спречимо ову неефикасност



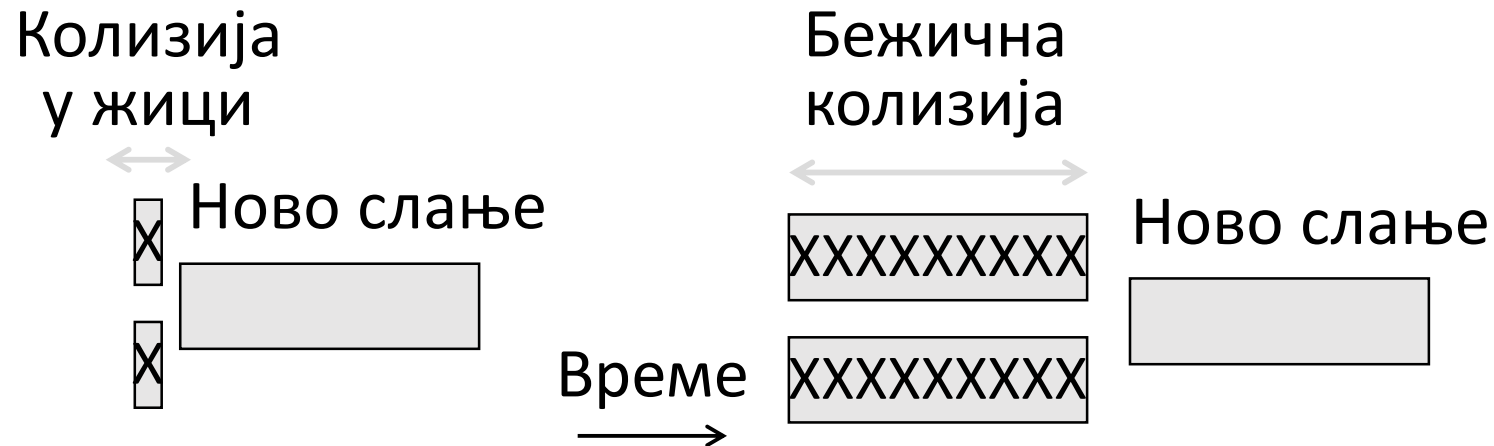
Примери изложених чворова

- В и С се називају изложени чворови када шаљу ка А и D
 - Могу да се чују, али нема колизије, јер не шаљу на исту адресу
 - Не желимо да се чекају међусобно, већ нам одговара да раде исторемено
 - Ако би користили CD, беспотребно би се чекали!



Чворови не могу да чују док шаљу

- Код жица, детекција колизија (и рано обустављање) смањује додатне трошкове (overhead)
- Код бежичног канала су већи додатни трошкови, јер ово није могуће



Могуће решење: MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)

- MACA користи процедуру „руковања“ (handshaking) уместо CSMA
 - 802.11 (WiFi) користи побољшану верзију MACA (ускоро)
- Правила протокола MACA:
 1. Пошиљалац емитује кратки оквир RTS (Request-To-Send, са информацијом о дужини оквира који хоће да шаље)
 2. Прималац емитује кратки оквир CTS (Clear-To-Send, са информацијом о дужини оквира преузетој из RTS)
 3. Пошиљалац када добије CTS, почиње слање, док други оквири који виде CTS, а нису слали RTS, чекају у складу са дужином из CTS
 - Колизиије су и даље могуће, али мање вероватне

МАСА – скривени чворови

- $A \rightarrow B$ са скривеним чвором C
 1. A шаље RTS, ка B

A

B

C

D

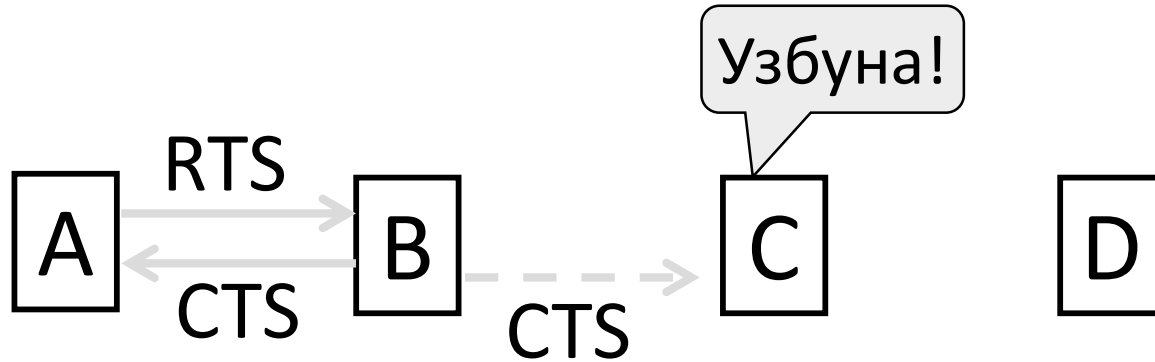
МАСА – скривени чворови (2)

- $A \rightarrow B$ са скривеним чвором C
 2. B шаље CTS , ка A , али и ка C



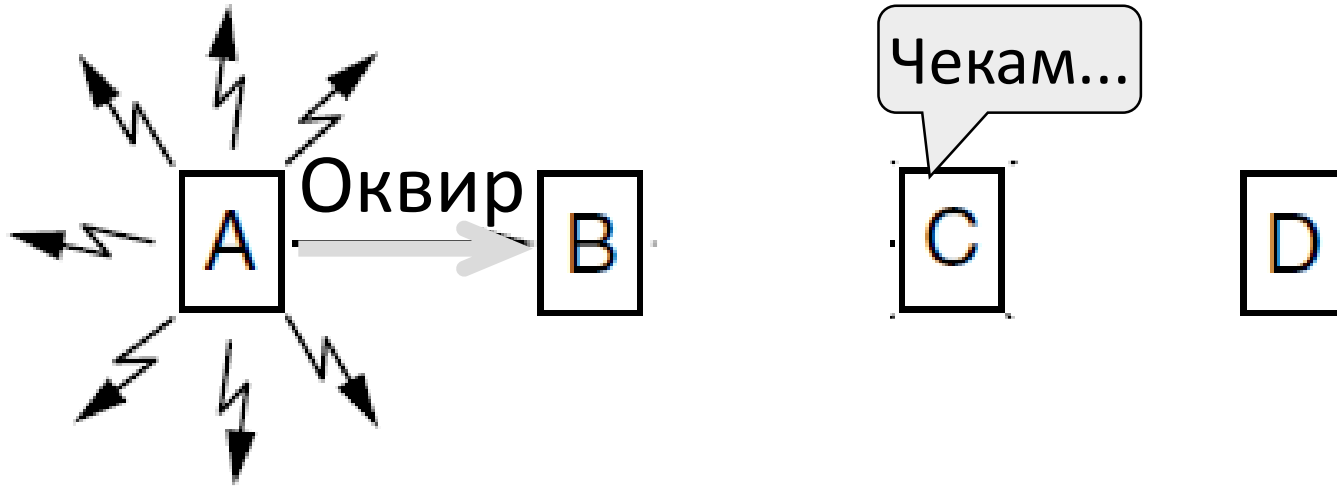
МАСА – скривени чворови (3)

- $A \rightarrow B$ са скривеним чвором C
 2. B шаље CTS , ка A , али и ка C



МАСА – скривени чворови (4)

- $A \rightarrow B$ са скривеним чвором C
 3. A шаље оквир, а C за то време чека



МАСА – изложени чворови

- $B \rightarrow A, C \rightarrow D$ као изложени чворови
 - В и С шаљу RTS ка А и ка D

A

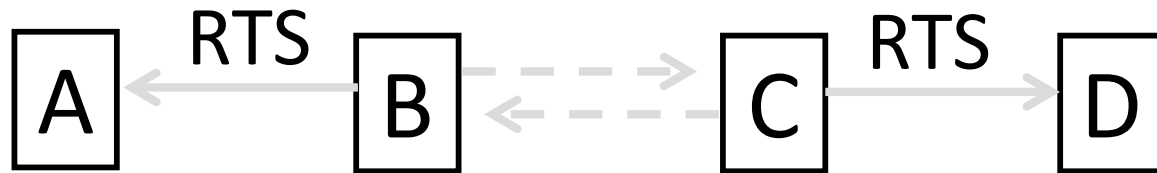
B

C

D

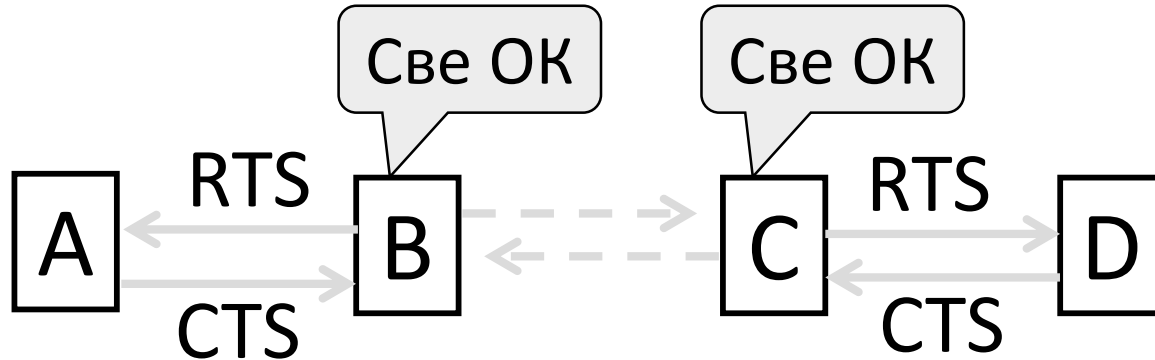
МАСА – изложени чворови (2)

- $B \rightarrow A$, $C \rightarrow D$ као изложени чворови
 - А и D шаљу CTS ка В и ка С



МАСА – изложени чворови (3)

- $B \rightarrow A, C \rightarrow D$ као изложени чворови
 - А и D шаљу CTS ка В и ка С



МАСА – изложени чворови (4)

- $B \rightarrow A, C \rightarrow D$ као изложени чворови
 - А и D шаљу CTS ка В и ка С

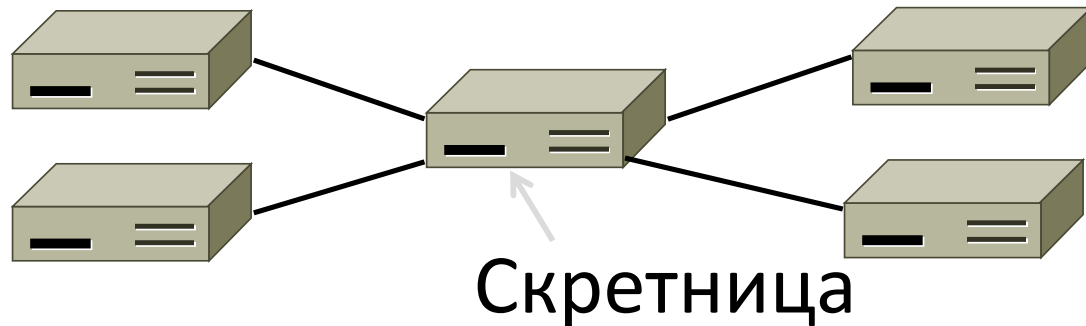


Модерни (Комутирани) Етернет

Етернет са скретницама/разводницима (switched Ethernet)

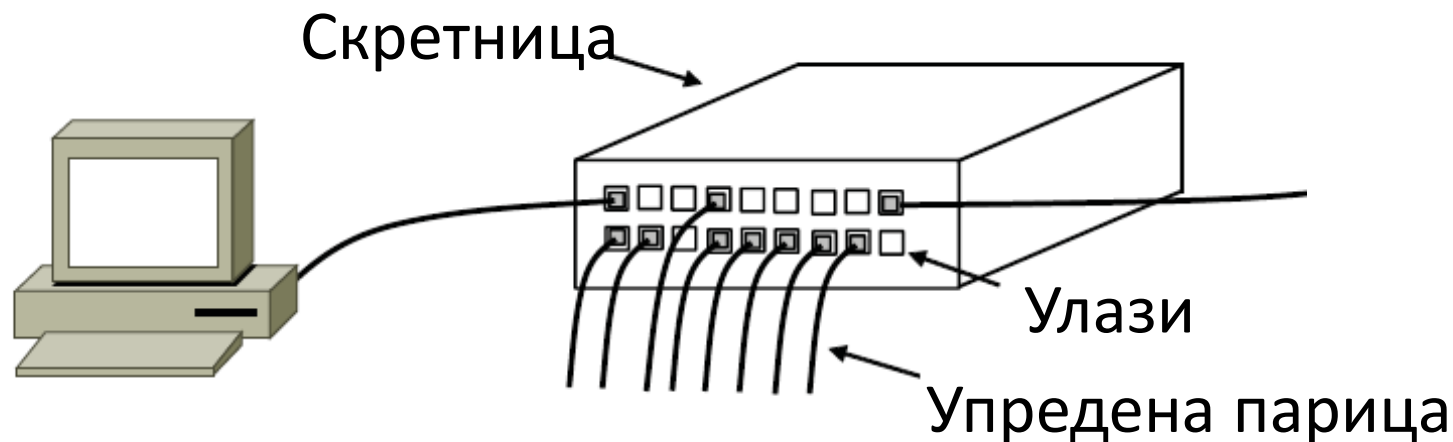
Тема

- Ова тема заправо не потпада под МАС
 - Али је ипак изучавамо овде да би комплетирали причу о Етернету
 - За повезивање чворова се користе скретнице
 - Канали се на хардверском нивоу раздвајају



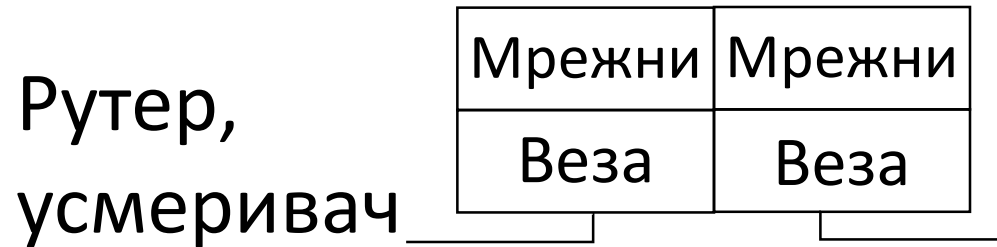
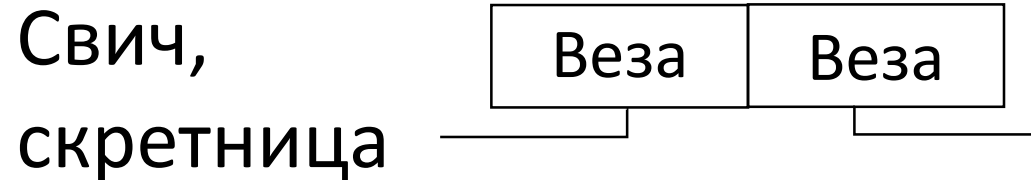
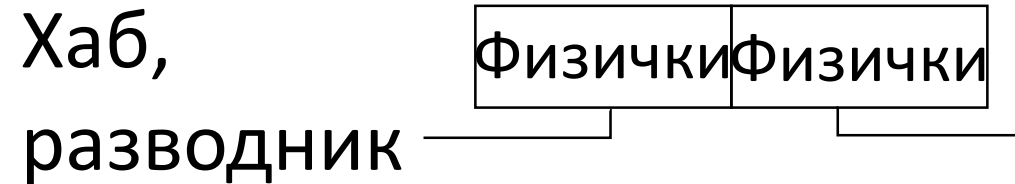
Модерни Етернет

- Чворови се повезују на Етернет физичким везивањем упредене парице на скретницу
 - Код класичног је повезивање било надовезивањем кабала (излаз из једног рачунара, улазу наредни, итд.) топологија магистрале
 - Овде више личи на топологију звезде



Типови опреме за усмеравање

- Ово смо већ споменули раније:

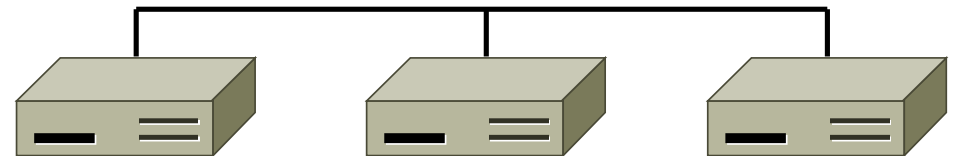
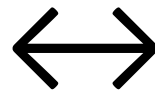
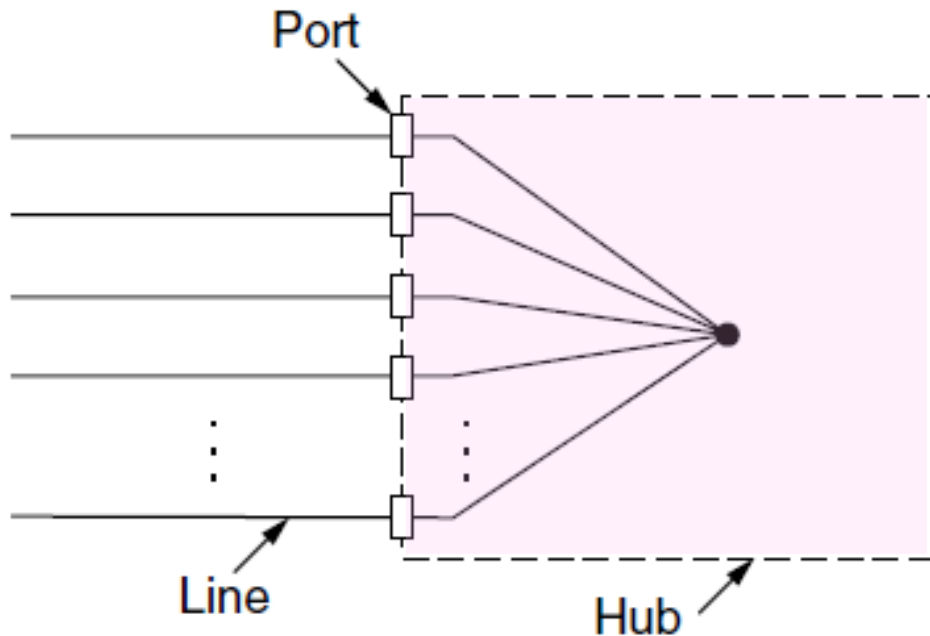


Све цртамо
на исти начин



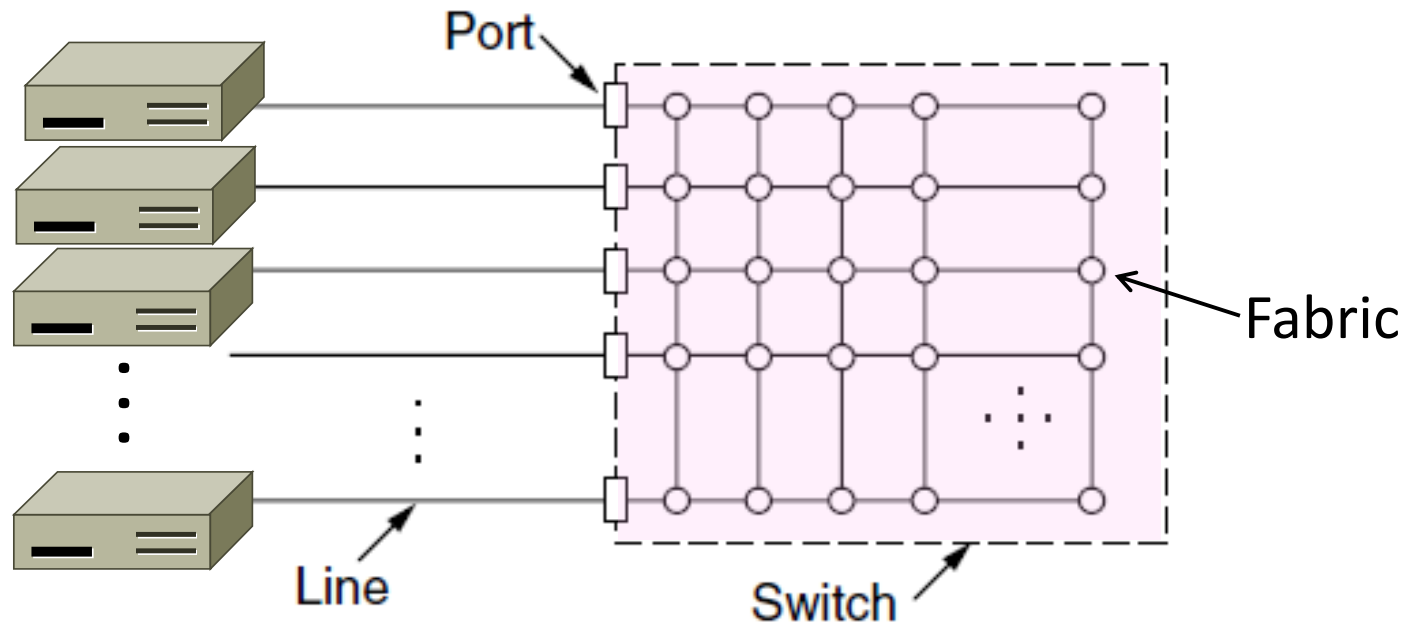
Хаб - разводник

- Сви каблови су повезани са свим осталим; улаз се понавља на све остале излазе
- Улазно/излазне прикључке ћемо звати портови
- Свестан је само битова, не зна за оквири



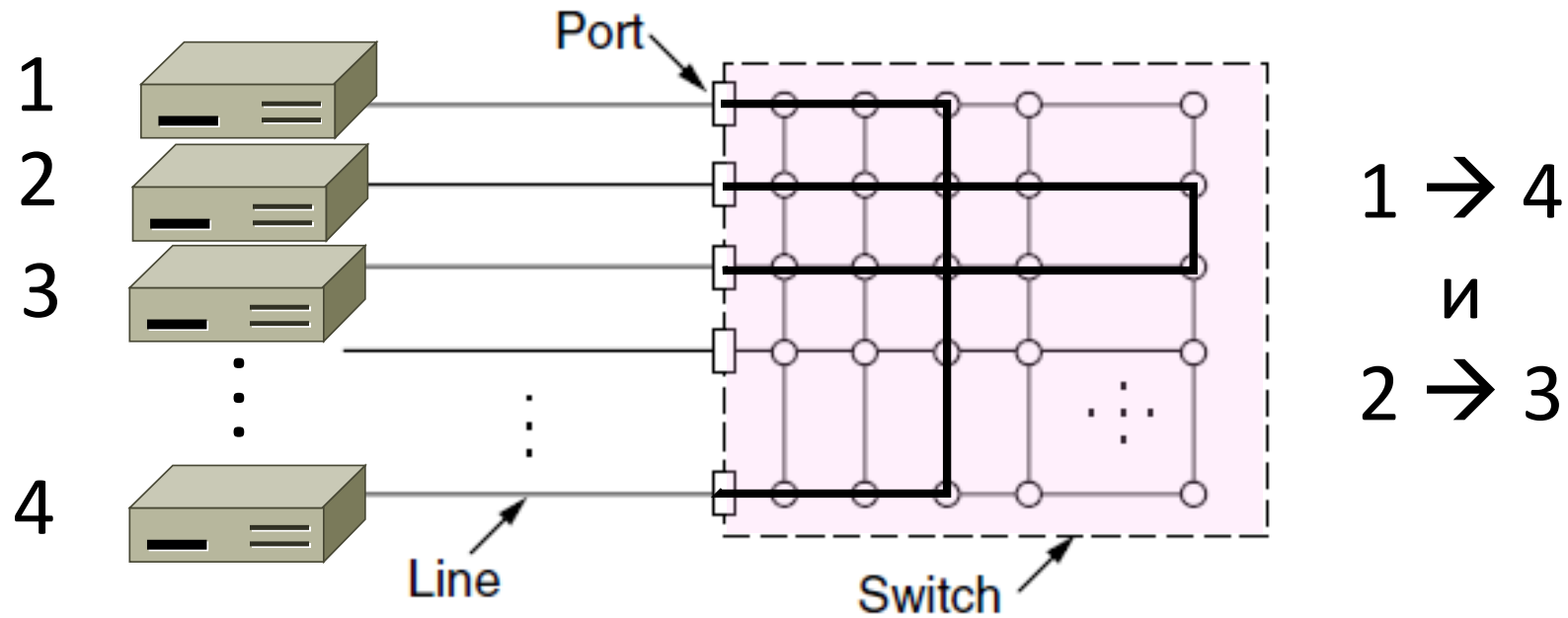
Свич - скретница

- Ради на слоју везе; користи адресе из оквира како би проследио улаз на жељени излаз; вишеструки оквири се могу слати истовремено



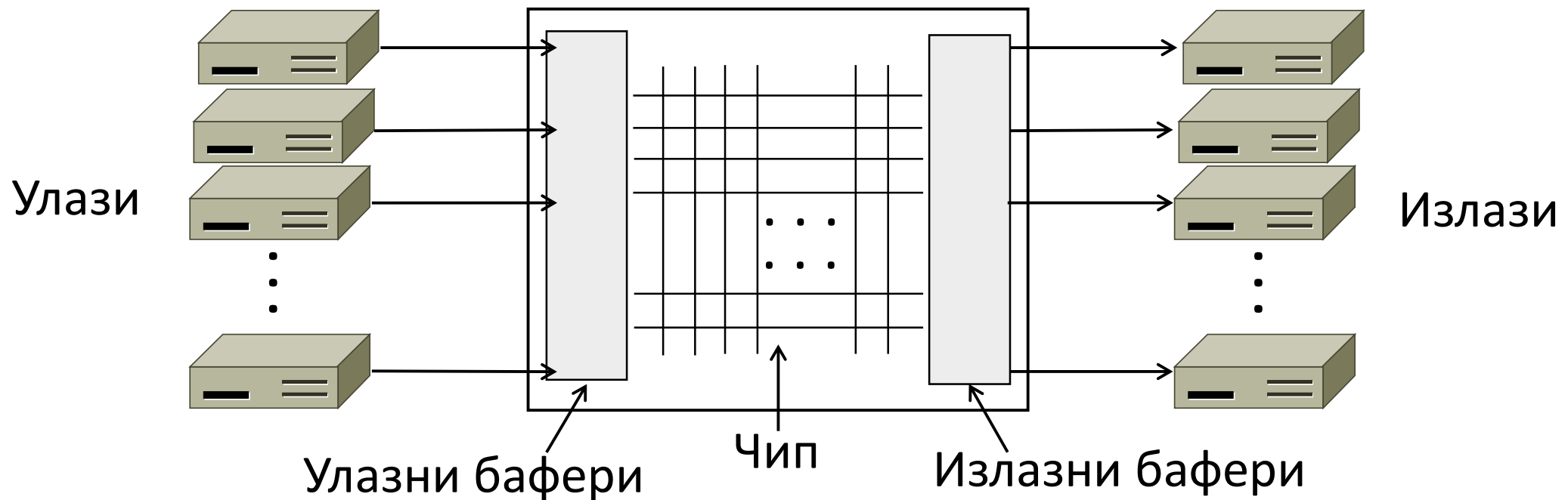
Свич – скретница (2)

- Порт је обично пуни дуплекс



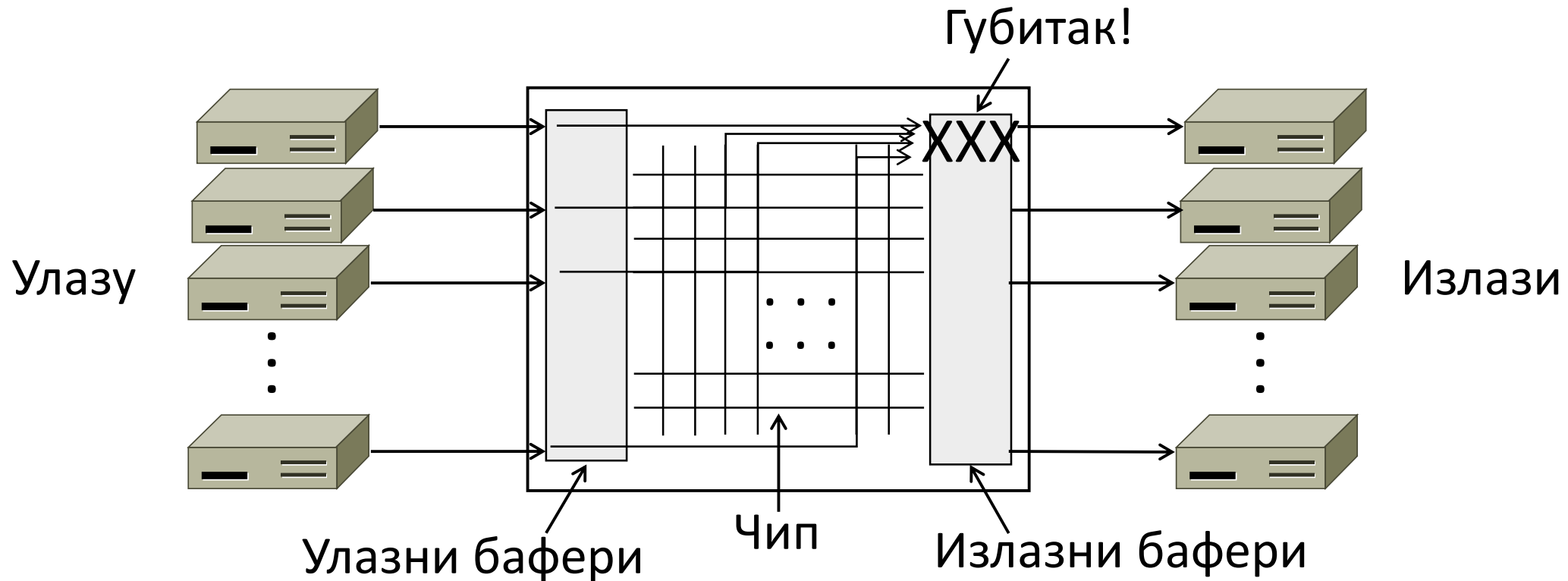
Свич – скретница (3)

- Потребни су бафери када нпр. вишеструки улази циљају исти порт (цртамо улазе и излазе одвојено због прегледности)



Свич – скретница (4)

- Велико оптерећење може да доведе до преливања бафера и губитка оквира

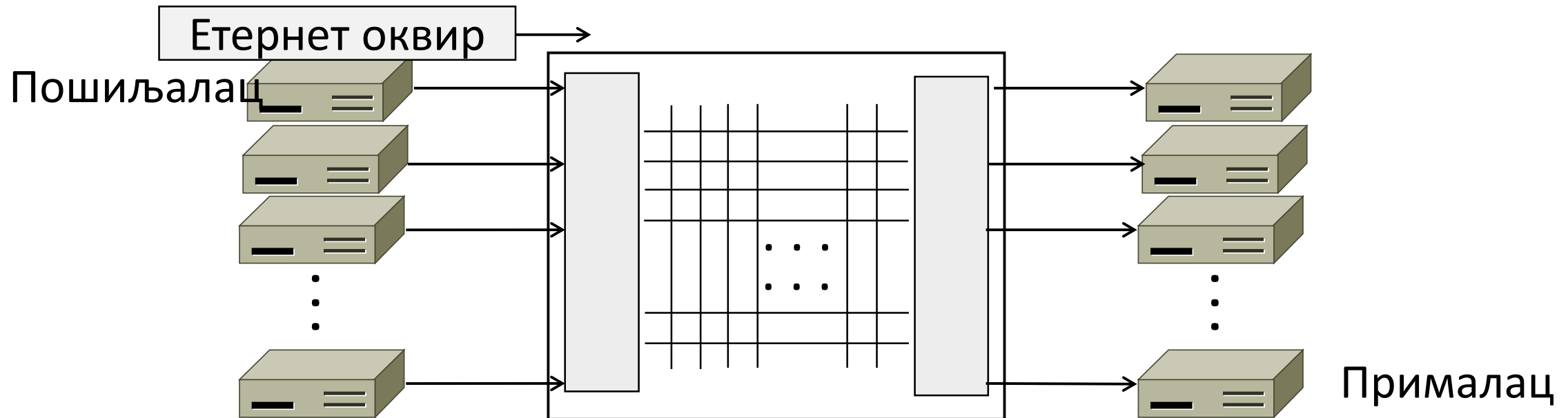


Предности скретница

- Скретнице и разводници су заменили концепт дељених каблова из доба класичног Етернета
 - Практичније је довести све жице на једну локацију
 - Поузданије него класични Етернет
 - Квар на једној жици нема утицај на већи део мреже
 - Квар се лако проналази, ако не ради цела мреже, значи да је проблем у скретници односно разводнику
- Скретнице омогућавају побољшани проток
 - Нпр. 100 Mb/s по улазно/излазној линији уместо 100 Mb/s за целу мрежу (дељени кабл)

Прослеђивање података

- Скретница треба да пронађе одговарајући порт на основу адресе примаоца из Етернет оквира
 - Додатно, желимо да можемо да премештамо чворове (искључујемо и укључујемо у различите портове)

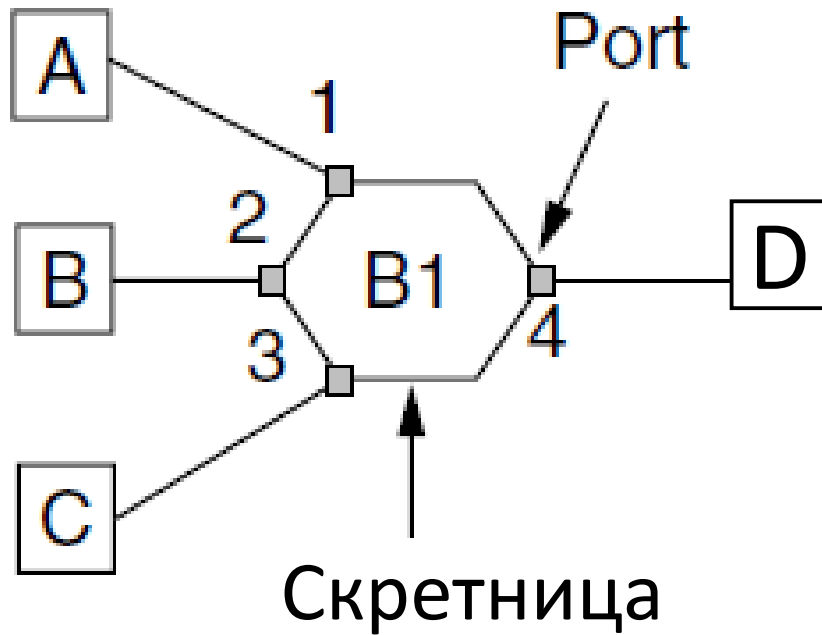


Учење уназад

- Прослеђивање оквира на основу табеле релација између броја порта и адресе из оквира:
 1. Да би се попунила ова табела, посматрамо адресе и портове чворова који шаљу оквире
 2. Ако се за задату адресу у табели налази придружени порт, онда пошаљи само њему, иначе пошаљи свим портовима

Учење уназад (2)

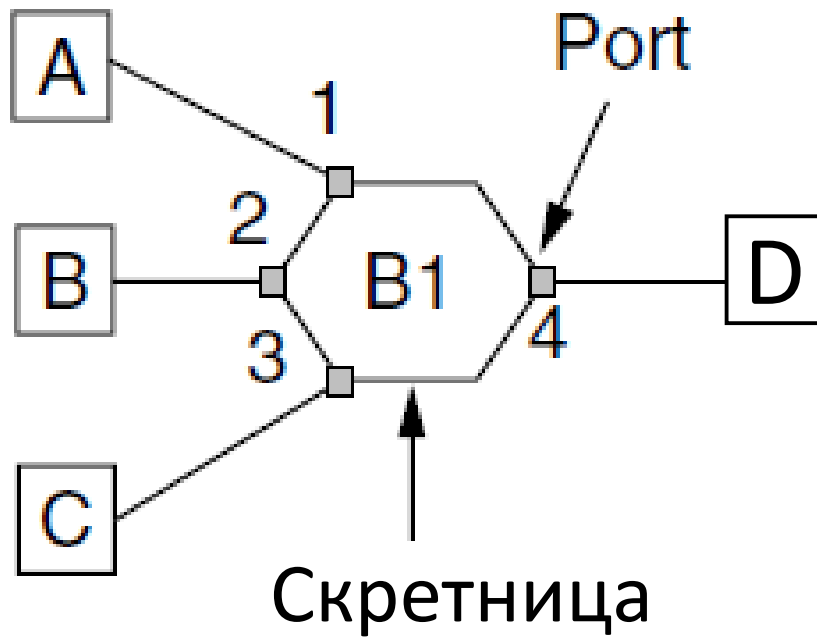
- 1: A шаље ка D



Адреса	Порт
A	
B	
C	
D	

Учење уназад (3)

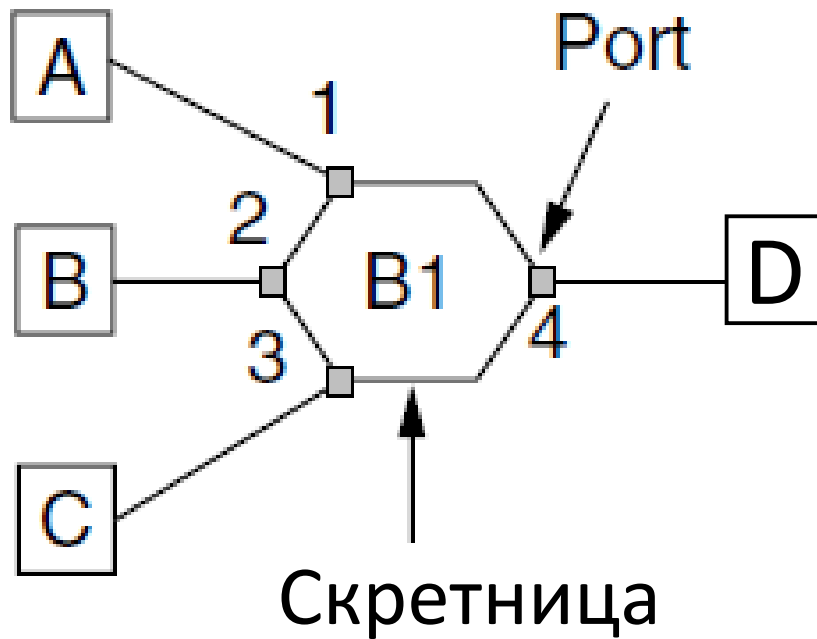
- 2: D шаље ка А



Адреса	Порт
A	1
B	
C	
D	

Учење уназад (4)

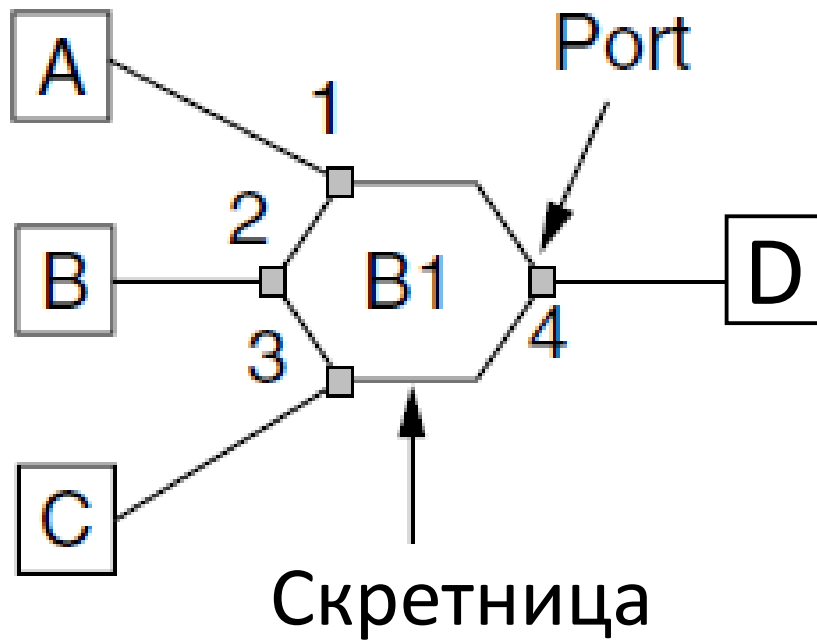
- 3: A шаље ка D



Адреса	Порт
A	1
B	
C	
D	4

Учење уназад (5)

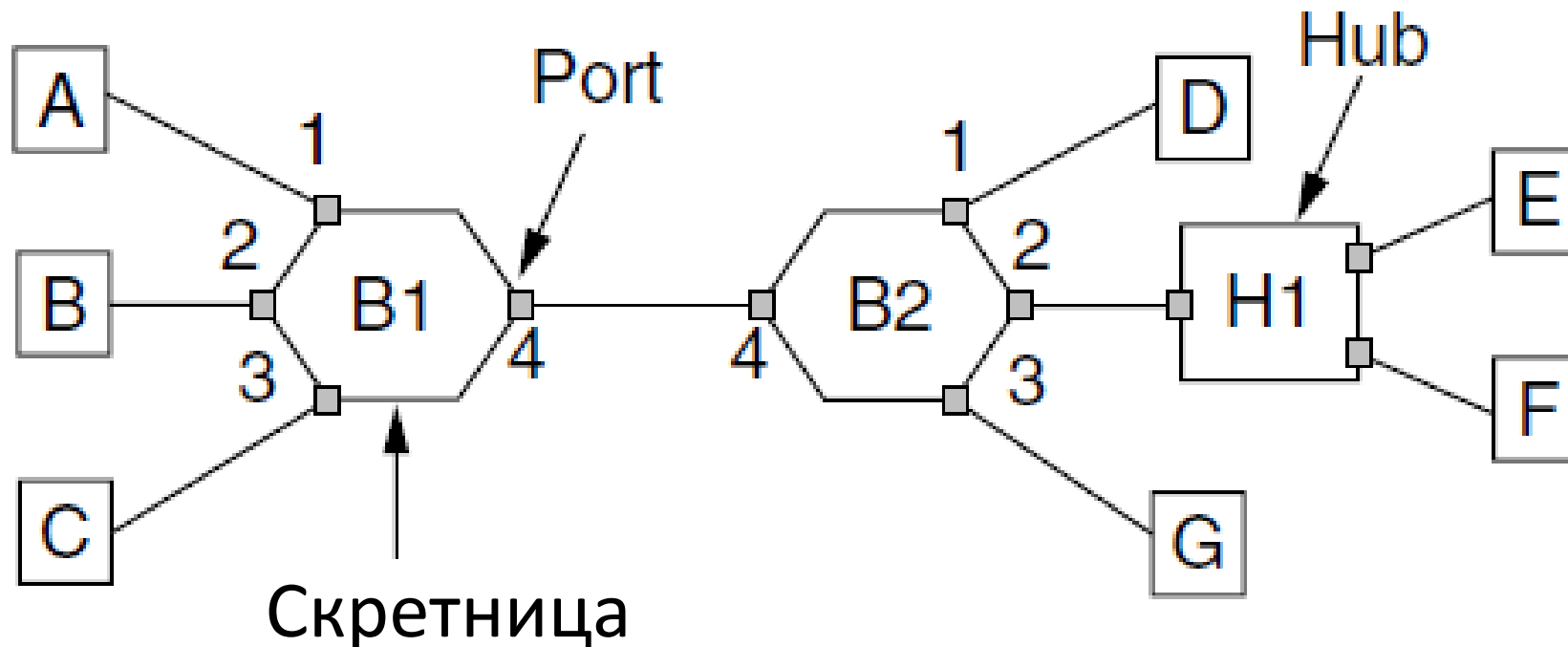
- 3: A шаље ка D



Адреса	Порт
A	1
B	
C	
D	4

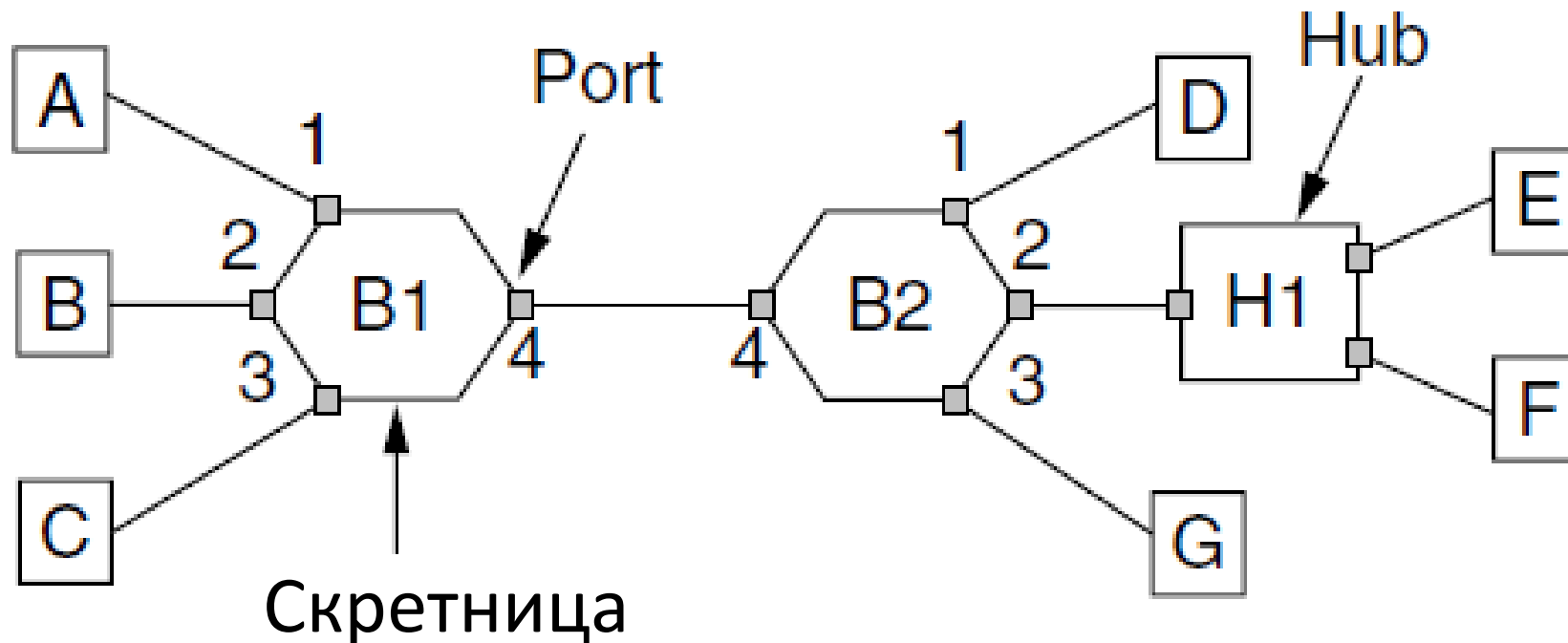
Вишеструке скретнице и разводници

- Није проблем, под претпоставком да нема петљи



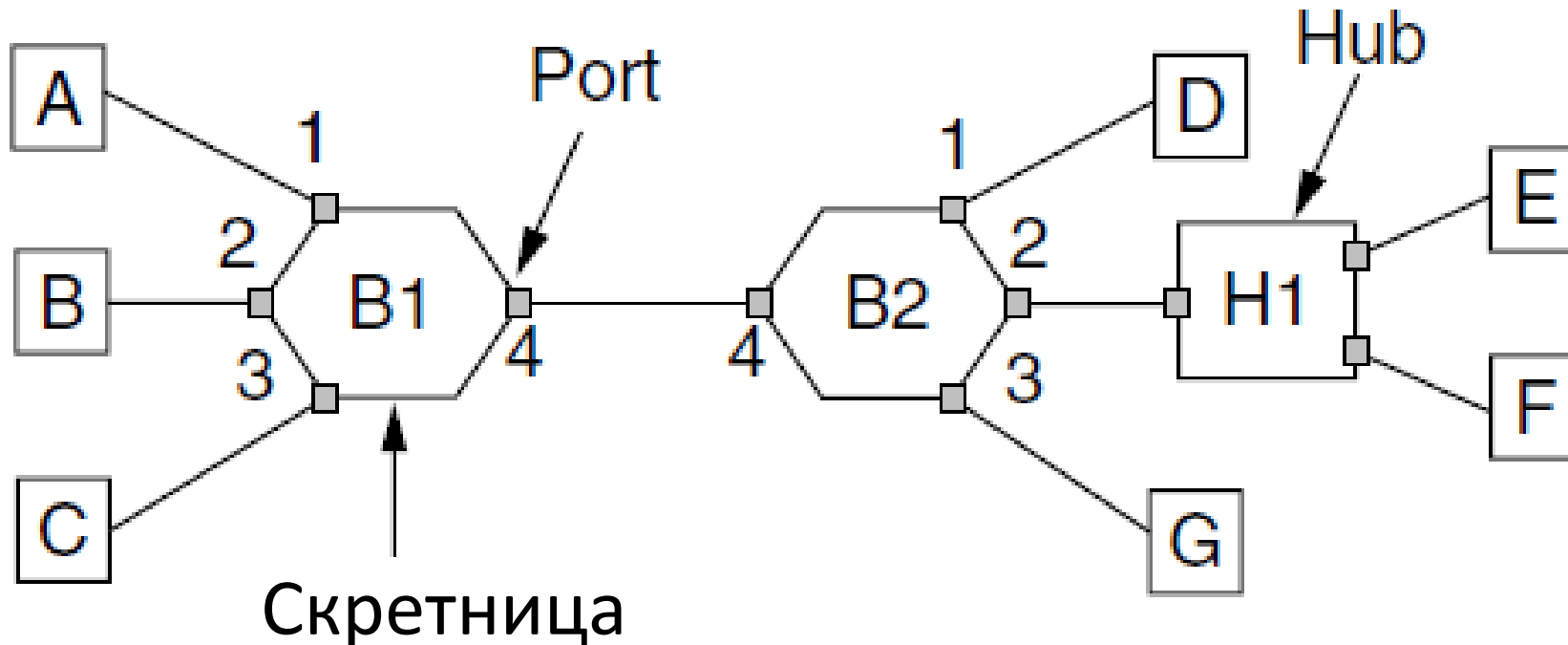
Вишеструке скретнице и разводници (2)

- Нпр. А шаље ка D, и после D шаље ка А
- Свака скретница прави своју одвојену табелу



Вишеструке скретнице и разводници (3)

- Нпр. скретница B2 ће порту 4 доделити адресу A
- Касније ако стигне и захтев од B, порт 4 ће имати A и B придружено

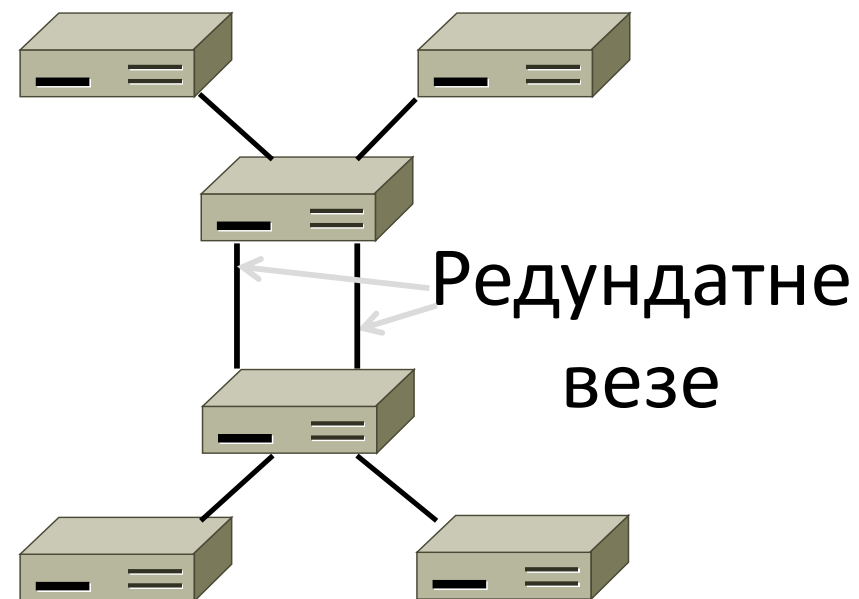


Модерни (Комутирани) Етернет

Елиминација петљи

Петље у рачунарским мрежама

- Како да повежемо скретнице на произвољан начин, а да мрежа и даље ради
 - Проблем са петљама
 - Мреже се обично пројектују да намерно имају редундантност
 - Тако да стално наилазимо на петље

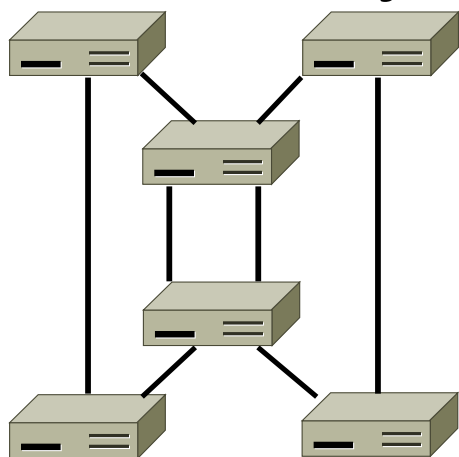


Коначно решење

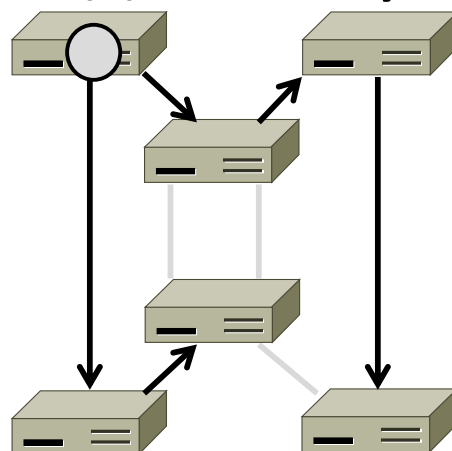
- Формирање разапињућег стабла
 - Стабло нема циклусе
 - А ипак између свака два чвора постоји пут
 - Како га формирамо?

Изоставићемо овај део из курса...

Топологија



Једна могућност



Друга могућност

