Datastrukturer och modeller

Thomas Gumbricht
thomas@karttur.com
www.karttur.com

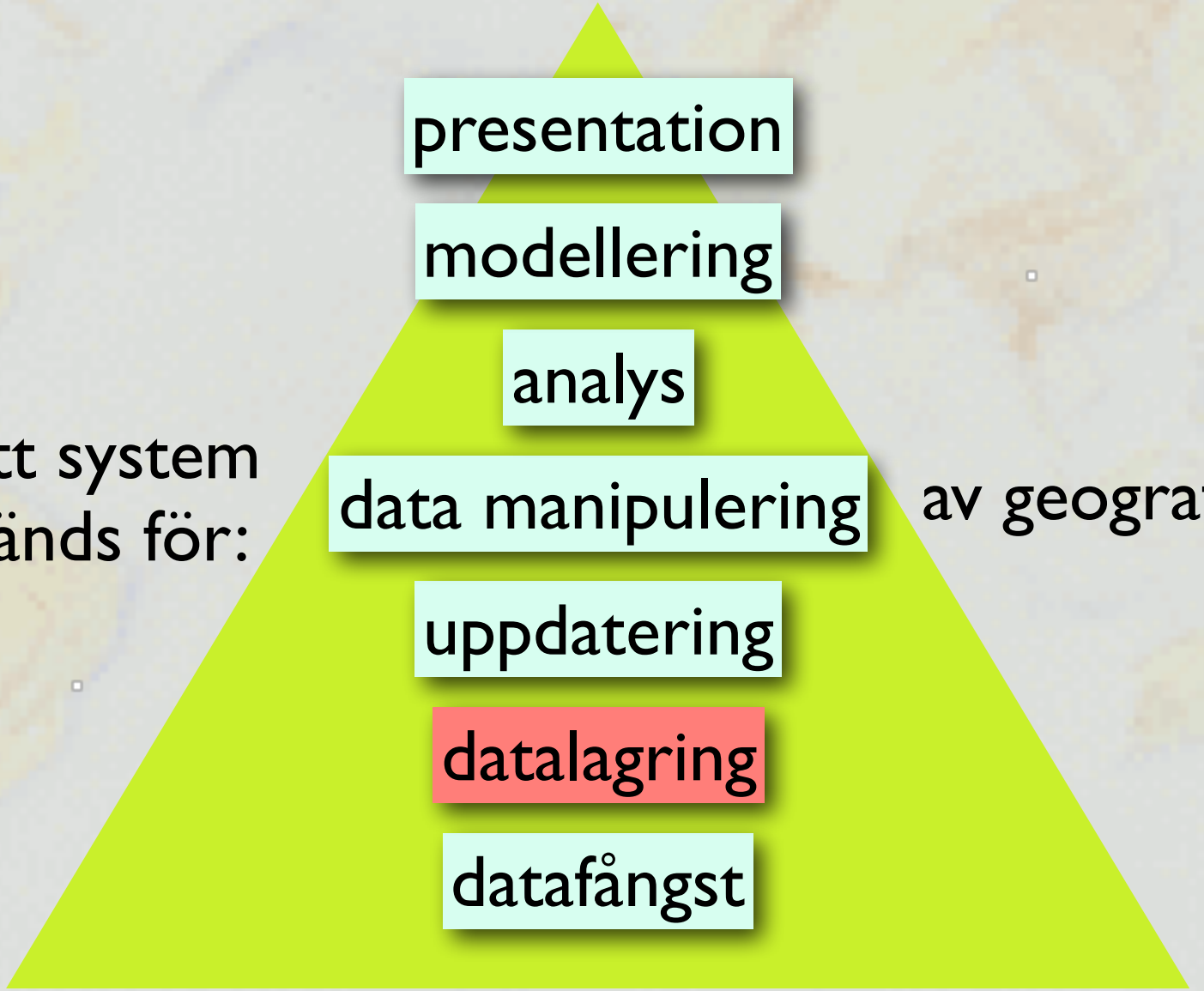
Föreläsningens innehåll och syfte

Föreläsningen ger en introduktion till datamodeller för Geografiska Informationssystem

- Binära dataformat
- Verklighet och model
- Objektmodel och fältmodel
- Raster data strukturer
- Vektor data strukturer

Komponenter i GIS

GIS är ett system som används för:



av geografiska data

mapjourney.com

Datastrukturer och modeller

- GIS kräver att både kartor och attributdata representeras som siffror
- Konvertering av kartor till siffror kräver en väldefinierad standard för att geografiskt kodifiera lokalisering av kartdata
- Ett koordinatsystem är en standardiserad metod för geokodning
- Standardiserade koordinatsystem använder absoluta positioner, definierade av spheroid / datum (relativa koordinatsystem - med lokalt datum vanliga)
- I ett geografiskt koordinatsystem är normalt x-riktningen öst-väst, och y-riktningen nord-syd (undantag finns)
- Vanligtvis ökar koordinatvärdena åt öster och åt norr (undantag finns)

Datastrukturer och modeller

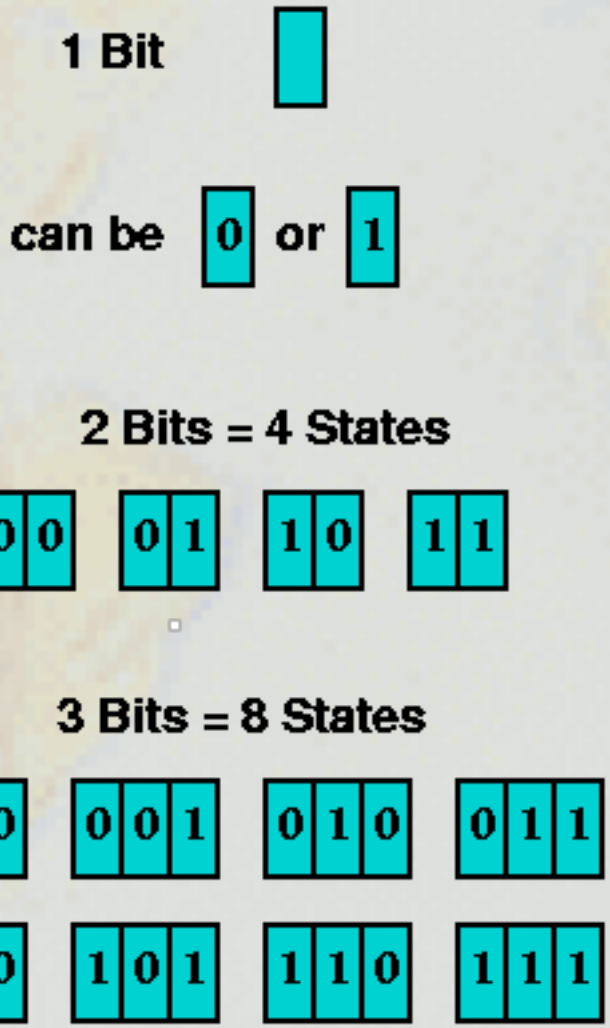
- Digitala kartor kräver entydiga och väldefinierade begrepp, och strikt regel-baserad semantik för att kunna:
- representera en geografisk verklighet i form av en model
- identifiera den rumsliga utbredning av ensklida objekt
- lokalisera objekt i ett 2D/3D koordinatsystem
- separera intilliggande objekt från varandra
- identifiera och sortera objekt beroende på orientering, storlek, läge etc

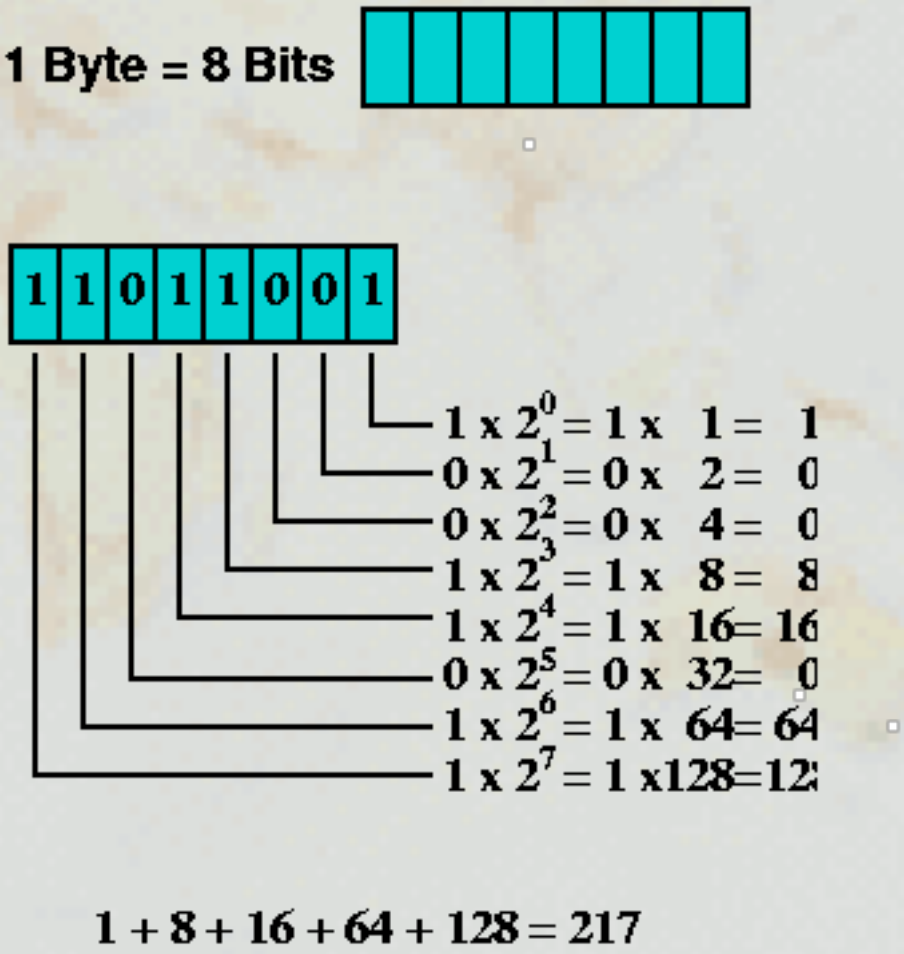
Datastrukturer och modeller

- En digital karta består av geografiska objekt, och attribut knutna till dessa objekt
- GIS organiserar denna geografiska data i filer och kataloger på en hårddisk
- Data kan lagras antingen som
  - binärt kodad (effektivare)
  - ASCII text (direkt läs- och editerbart)

Datastrukturer och modeller

det binära talsystemet





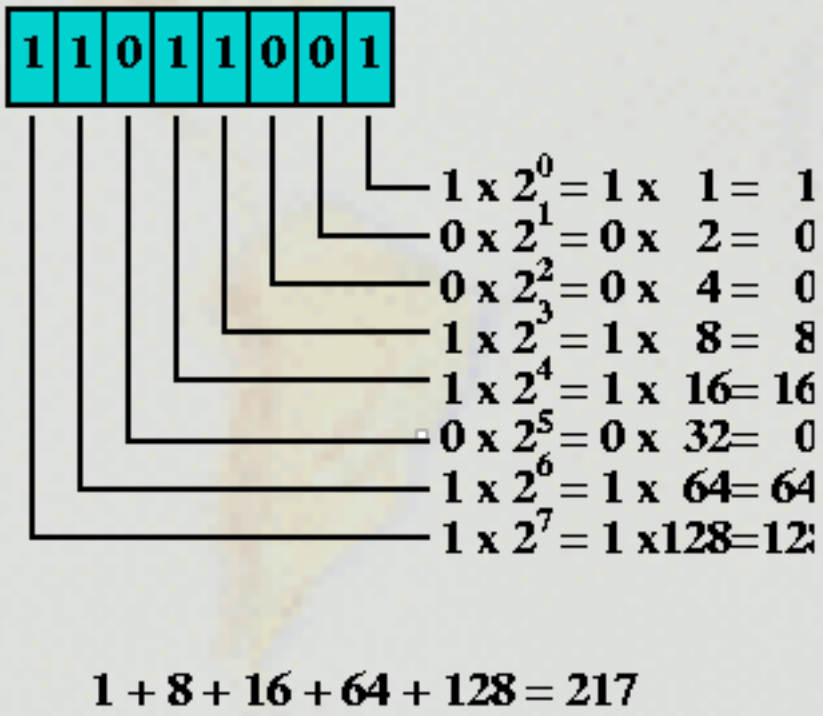
Binär talrepresentation

Benämning	Bitar	tecken	Värdeområde
Byte	8	signed	-127..127
Byte	8	unsigned	0..255
Small integer	16	signed	-32768..32768
Word	16	unsigned	0..65535
Integer	32	signed	-2147483648..2147483648
Cardinal	32	unsigned	0..4294967295
Single	32	7-8 decimaler	1.5*10^-45..3.4*10^38
Real48	48	11-12 decimaler	2.9*10^-39..1.7*10^38
Double	64	15-16 decimaler	5.0*10^-324..1.7*10^308

Binär talrepresentation

LSB = Least Significant Bit/Byte

MSB = Most Significant Bit/Byte



I exemplet sitter MSB i den första positionen. Om strängen inverteras hamnar istället MSB i den sista positionen.

På samma sätt kan ett integer tal (16 bitar = 2 byte) konstrueras med MS*Byte* i första positionen = big endian, eller med LS*Byte* i första positionen = small endian.

Binär talrepresentation

ASCII American National Standards Institute

Verklighet och modell

Världen är oändligt komplex

- Innehållet i en databas representerar en begränsad syn på verkligheten; en rumslig databas är en av oändligt många möjliga representationer av modeller av verkligheten
- Ontologiska aspekter
- Epistomological aspekter
- Användarens tillgång till och tolkning av en rumslig databas är via ett gränssnitt

Verklighet och modell

En rumslig databas kan innehålla

- Digitala abstraktioner av verkliga objekt
  - ex.v. land, vatten, hus, vägar, träd
- Digitala abstraktioner av fiktiva objekt
  - ex.v. politiska gränser, ekosystem

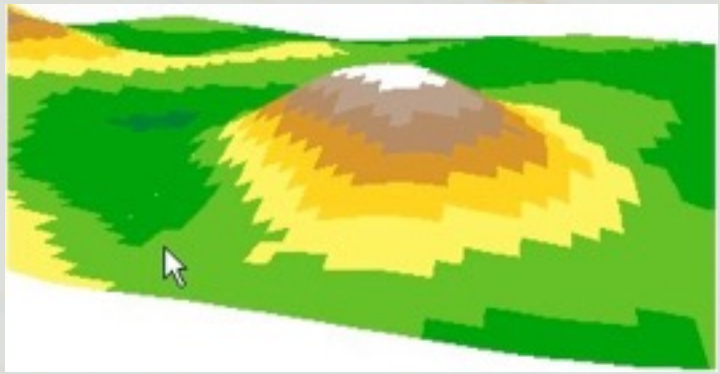
Verklighet och modell

Datorer är bra på att lagra diskret data, men sämre på att lagra kontinuerlig data - till syvende och sidst är allt lagrat som 1 eller 0.

Verklighet och modell

- Objekt som är av diskret natur, hus, vägar, distrikt etc, vållar inga problem att representera som diskreta objekt.

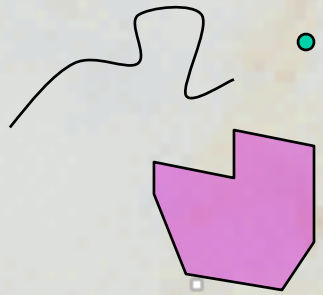
- Egenskaper som finns överallt och som varierar kontinuerligt, elevation, temperatur, lufttryck, måste approximeras till en diskret representation.



Verklighet och modell

Geografisk model

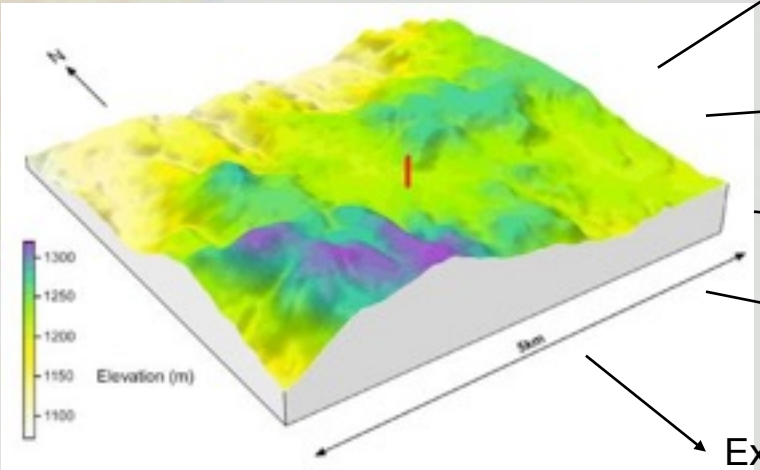
Diskreta objekt



- punkter, linjer och areor
- bestämt antal
- Existerar över tid, kan vara mobila
- specifik localisering

Exempel: topografi, mänskliga objekt, indivier, etc.

Koninuerliga fält

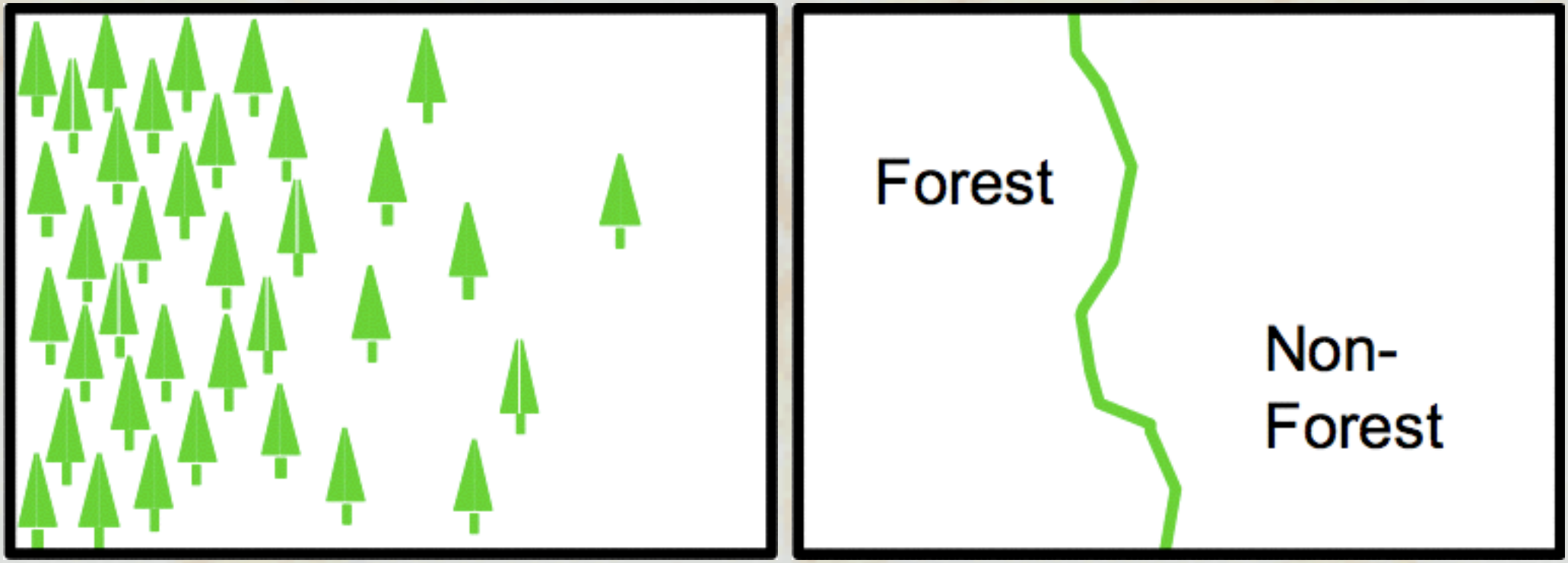


- Egenskaper som varierar kontinuerligt i rummet
- Mätbara fenomoen
- värde = f(position)
- värden finns för alla plater

Exemples: höjd, temperatur, fuktighet, befolkningstäthet, etc.

mapjourney.com

Verklighet och modell



Diskreteringen av kontinuerliga fenomen
är ofta godtycklig

Objektmodell och fältmodell

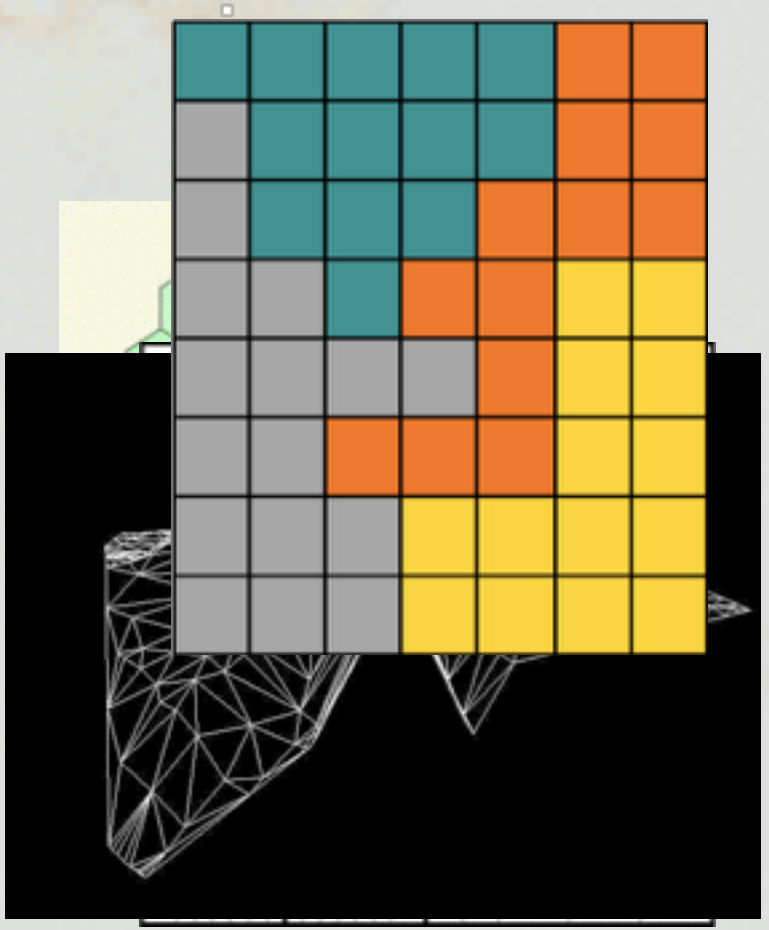
GIS-samhället har utvecklat konceptuella modeller av verkligheten, sprungna ur kartografi snarare än datalogi:

- Objektmodel - punkter, linjer, ytor fyller upp alla delar av rummet
- Fältmodell - Värden för varje position

Tesseleringsmodeller

Raster data modellen tillhör en större grupp av fältdatamodeller eller tesseleringsmodeller:

- Grid eller raster
- Hexagonaler
- Triangular Irregular Network (TIN)
- Kvadratträd



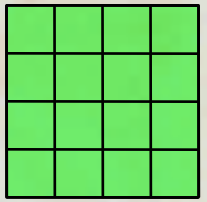
Fältmodel

Raster = regelbunden tesselering

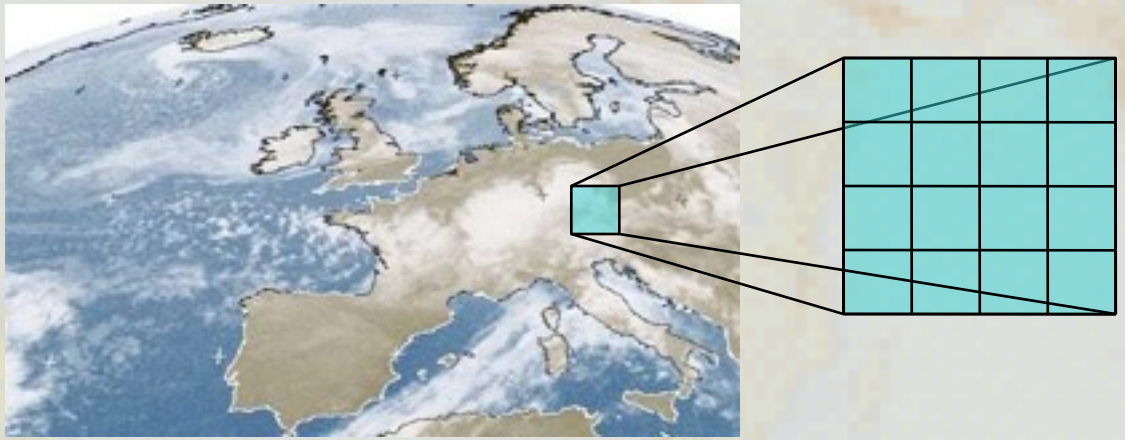
- Delar upp världen i rektangulära celler
- Registrerar grid-hörnen till en geografisk punkt
- Representerar diskreta objekt som grupper av celler med eller utan attributkoppling (koppling via indexnummer)
- Representerar fält som cellvärden (utan attributkoppling)
- Värden för varje cell
- Även celler utan relevant data lagras, som "ingen data"
- Vanligare att använda för fältobjekt
- Lätt att förstå

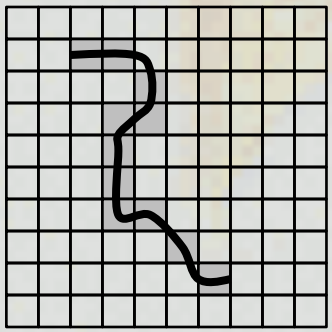
Raster data struktur

- Delar upp världen i rektangulära **celler** = **pixlar**

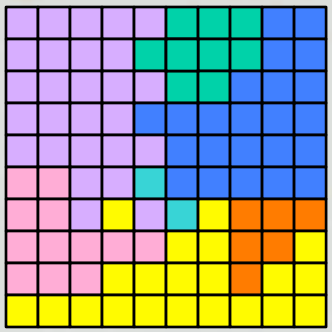


- Registrerar grid-hörnen till en geografisk punkt



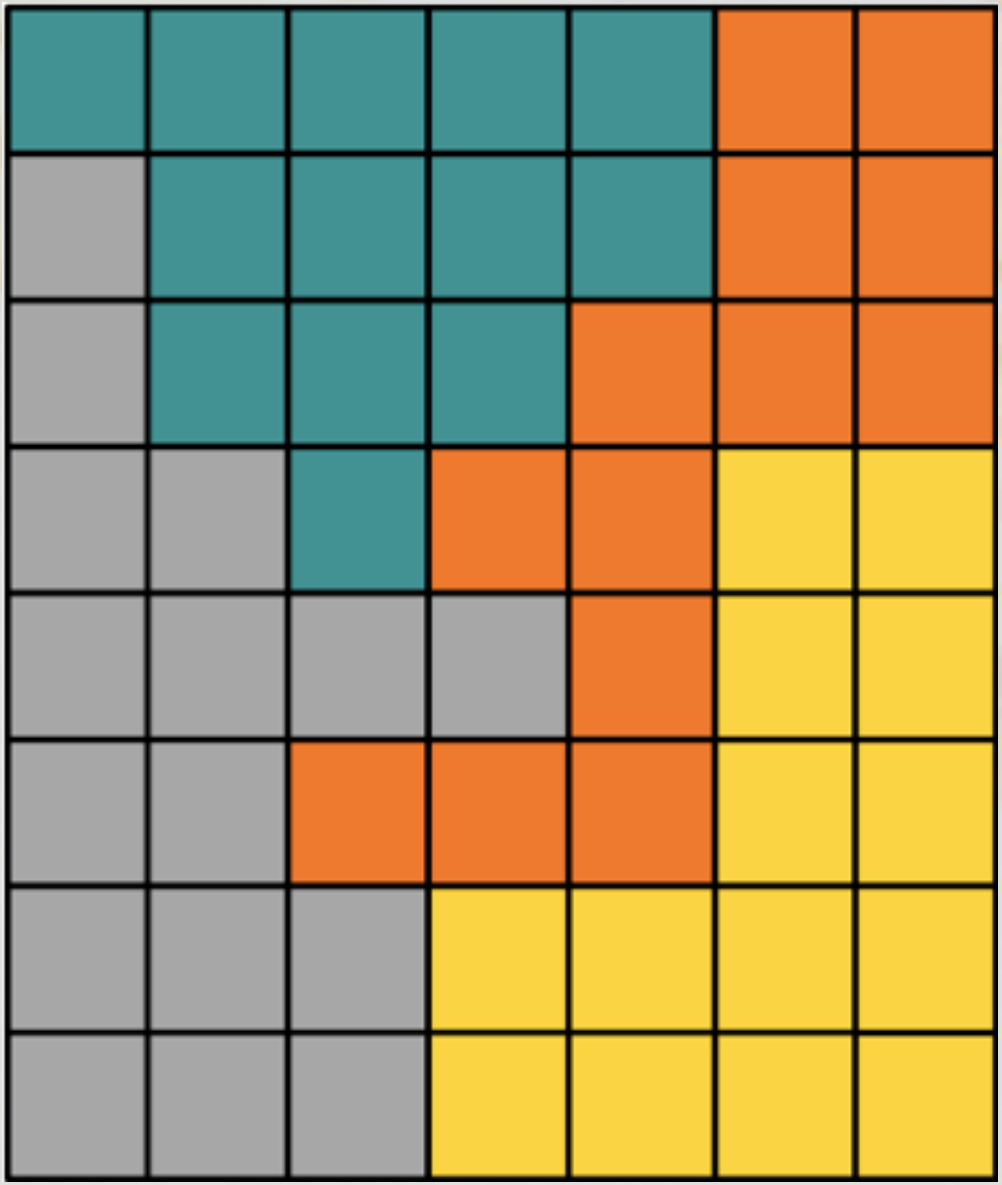


diskreta objekt
grupper av celler



Kontinuerliga fält
cellvärdet = fältvärdet

Raster data struktur



Jordbruksmark

Våtmark

Skog

Bebyggelse

Raster data struktur för diskreta objekt - markanvänding.

mapjourney.com

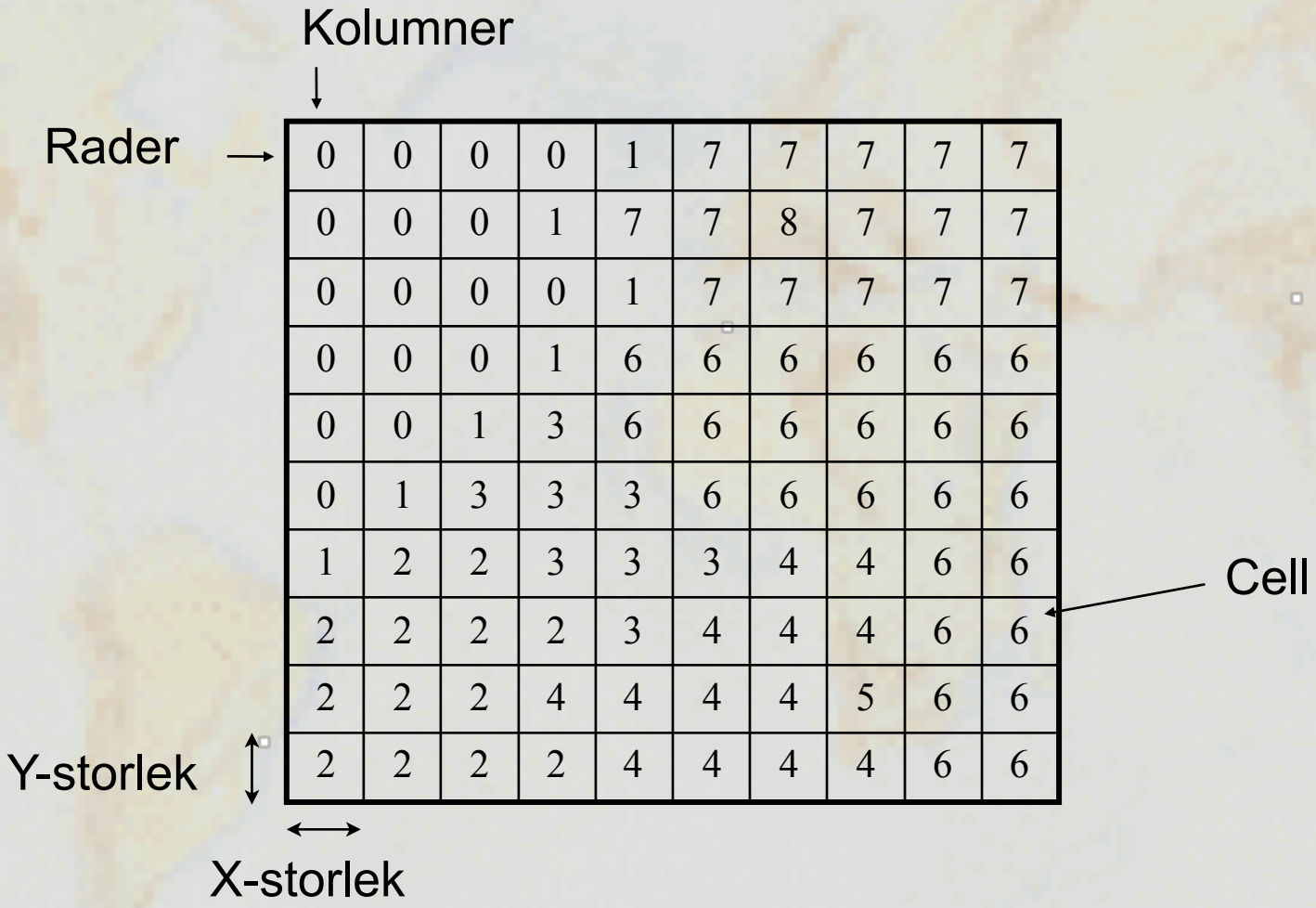
Raster

- Pixel storlek
  - Storleken på cellen eller bildelementen som definierar den rumsliga detaljeringsgraden/ upplösningen
  - kan vara olika i x och y

- Tilldelning av cellvärden - värdet på en cell kan representera
  - medelvärdet för cellens yta
  - typvärdet för cellens yta
  - mittvärdet för cellets yta

mapjourney.com

Raster data struktur



Cell/pixel storlek = **rumslig upplösning**

- definierar detaljnivå för rumsliga objekt
- variationer inuti pixeln går förlorad

Raster

Mixade pixlar - ett problem med raster

Vatten dominant

V	V	L
V	V	L
V	V	L

Segraren tar allt

V	L	L
V	L	L
V	L	L

ekotoner som egen klass

V	E	L
V	E	L
V	E	L

Raster

Lagring av rasterdata

- Sekventiell lagring
  - Byte Interleaved by Pixel - BIP
  - Byte Interleaved by Line - BIL
  - Band Sequential - BSQ
- Blockkodning
- Kedjekodning
- Radlängdskodning
- Kvadratträd

Raster

Filstorlek

rader*kolumner*”Byte per pixel” = filstorlek

Storlek på fil med byte-värden (1 byte per pixel)

rader*kolumner

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 1: Byte data
ERmapper

```
DatasetHeader Begin
        Version             = "5.5"
        Description  = "NOAA-AVHHR NDVI annual average "
        DataSetType  = ERStorage
        DataType     = Raster
        ByteOrder    = LSBFirst
        CoordinateSpace Begin
                Datum               = "CLARKE 1866"
                Projection    = "ALBERSEA"
                CoordinateType      = EN
                Rotation      = 0:0:0.0
        CoordinateSpace End
        RasterInfo Begin
                CellType      = Unsigned8BitInteger
                NullCellValue= 0
                CellInfo Begin
                        Xdimension   = 8000
                        Ydimension   = 8000
                CellInfo End
                NrOfLines     = 360
                NrOfCellsPerLine    = 450
                RegistrationCoord Begin
                        Eastings        = -3920000
                        Northings     = 3250000
                RegistrationCoord End
                NrOfBands    = 1
                BandId Begin
                        Value           = "Pseudo"
                BandId End
        RasterInfo End
DatasetHeader End
```

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 1: Byte data
ArcGIS

```
;
;ArcView Image Information
; NOAA-AVHRR NDVI annual average
; Projection: ALBERS (Albers Equal Area Conic)
; Units:  METERS
; Spheroid:  CLARKE1866
; 1st standard parallel (dms):   -19 00 0.000
; 2nd standard parallel (dms):   21 00 0.000
; central meridian (dms):    20 00 0.000
; latitude of projection origin:    1 00 0.000
; false easting (meters):   0.00000
; false northing (meters):    0.00000
;
NCOLS       450
NROWS       360
NBANDS      1
NBITS       8
LAYOUT      BIL
BYTEORDER   I
SKIPBYTES   0
MAPUNITS    METERS
ULXMAP      -3916000
ULYMAP      3246000
XDIM        8000.00000
YDIM        8000.00000
```

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 1: Byte data IDRISI

```
file format : IDRISI Raster A.1
file title  : NOAA-AVHRR NDVI annual average
data type   : byte
file type   : binary
columns     : 450
rows        : 360
ref. system : albersaf
ref. units  : m
unit dist.  : 1.0000000
min. X      : -3920000.0000000
max. X      : -320000.0000000
min. Y      : 370000.0000000
max. Y      : 3250000.0000000
pos'n error : unknown
resolution  : 8000.0000000
min. value  : 0
max. value  : 255
display min : 0
display max : 255
value units : unspecified
value error : unknown
flag value  : none
flag def'n  : none
legend cats : 0
```

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 1: Byte data
ENVI

ENVI
description = {
 NOAA-AVHHR NDVI annual average }
samples = 450
lines   = 360
bands   = 1
header offset = 0
file type = ENVI Standard
data type = 1
interleave = bsq
sensor type = AVHRR
byte order = 0
map info = {Albers_NDVI_ADDS, 1.0000, 1.0000, -3916000, 3246000, 8.0000000000e+003, 8.0000000000e+003, , units=Meters}
projection info = {9, 6378206.4, 6356583.8, 1.000000, 20.000000, 0.0, 0.0, -19.000000, 21.000000, Albers_NDVI_ADDS, units=Meters}
wavelength units = Unknown
band names = {
NDVI}

Raster

metadata och huvudfil

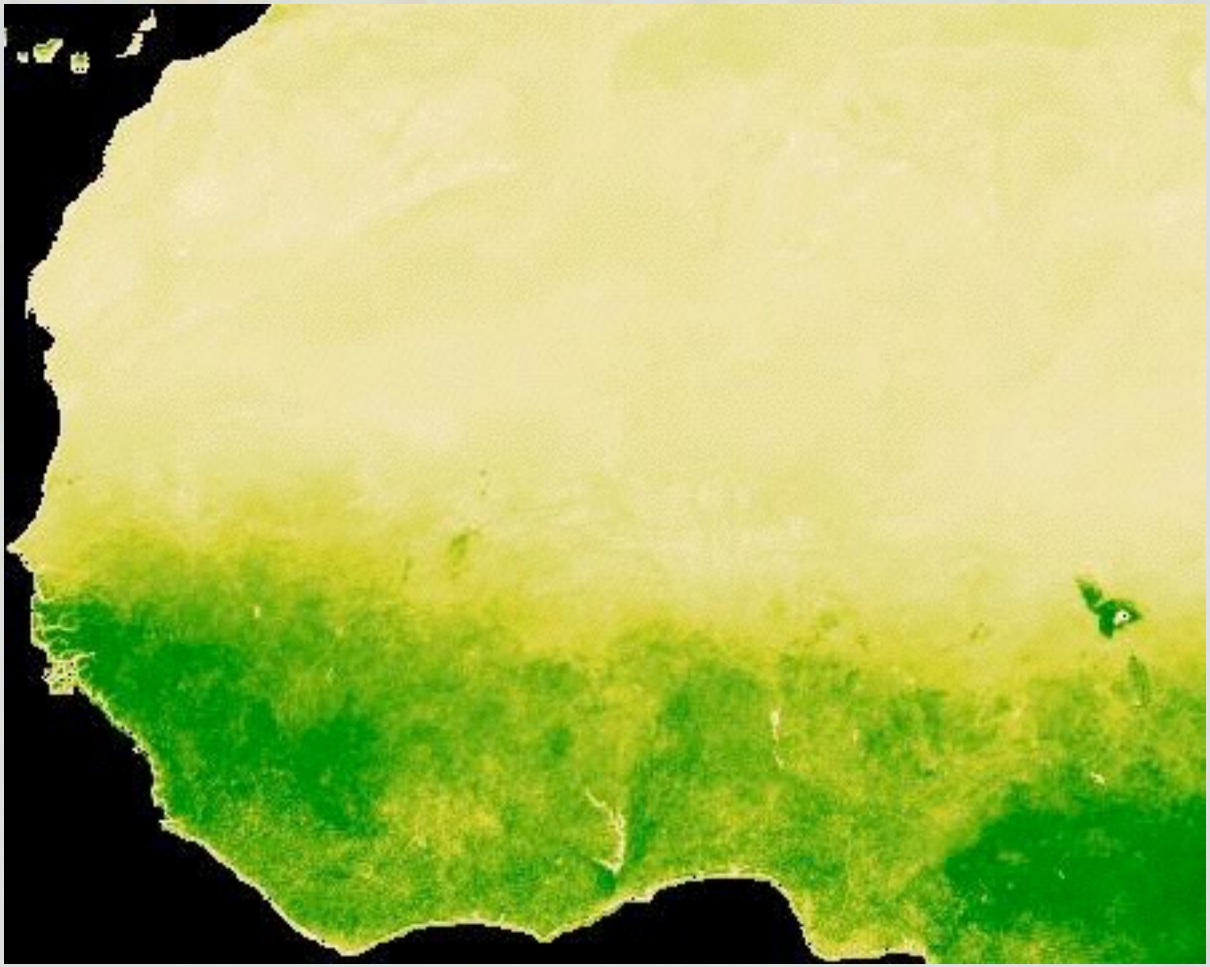
Exempel 1: Byte data
DIVA

```
Version=4.1
Title=NDVIg Annual mean 2004
Created=20050306
[GeoReference]
Projection=ALBERS
Datum=CLARKE1866
Mapunits=m
Columns=450
Rows=360
MinX=-3920000
MaxX=-32000
MinY=37000
MaxY=3250000
ResolutionX=8000
ResolutionY=8000
[Data]
DataType=BYTE
MinValue=0
MaxValue=255
NoDataValue=-9999
Transparent=1
Units=NDVI
[Application]
```

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 1: Byte data
JPG (*.jpw, *.jpgw)
TIF (*.tfw)
BMP (*.bmpw)



```
8000
0
0
-8000
-3916000
3246000
```

Denna typ av huvudfil kallas "world"-fil och kan följa med alla typer av bildformat.

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 2: Integer data
ERmapper

```
DatasetHeader Begin
        Version         = "5.5"
        Description     = "NOAA-AVHHR NDVI annual npp "
        DataSetType     = ERStorage
        DataType        = Raster
        ByteOrder       = LSBFirst
        CoordinateSpace Begin
                Datum           = "CLARKE 1866"
                Projection      = "ALBERSEA"
                CoordinateType  = EN
                Rotation        = 0:0:0.0
        CoordinateSpace End
        RasterInfo Begin
                CellType        = Unsigned16BitInteger
                NullCellValue= 0
                CellInfo Begin
                        Xdimension  = 8000
                        Ydimension  = 8000
                CellInfo End
                NrOfLines       = 360
                NrOfCellsPerLine    = 450
                RegistrationCoord Begin
                        Eastings        = -3920000
                        Northings       = 3250000
                RegistrationCoord End
                NrOfBands   = 1
                BandId Begin
                        Value           = "Pseudo"
                BandId End
        RasterInfo End
DatasetHeader End
```

Raster

metadata och huvudfil

Exempel 3: real data ERmapper

```
DatasetHeader Begin
        Version         = "5.5"
        Description     = "NDVI annual max trend 1982-2004"
        DataSetType     = ERStorage
        DataType        = Raster
        ByteOrder       = LSBFirst
        CoordinateSpace Begin
                Datum           = "CLARKE 1866"
                Projection      = "ALBERSEA"
                CoordinateType  = EN
                Rotation        = 0:0:0.0
        CoordinateSpace End
        RasterInfo Begin
                CellType        = IEEE32REAL
                NullCellValue= 0
                CellInfo Begin
                        Xdimension      = 8000
                        Ydimension      = 8000
                CellInfo End
                NrOfLines       = 360
                NrOfCellsPerLine        = 450
                RegistrationCoord Begin
                        Eastings        = -3920000
                        Northings       = 3250000
                RegistrationCoord End
                NrOfBands       = 1
                BandId Begin
                        Value           = "Pseudo"
                BandId End
        RasterInfo End
DatasetHeader End
```

Vektor data model

Verkliga eller fiktiva objekt representerade som punkter, linjer och ytor

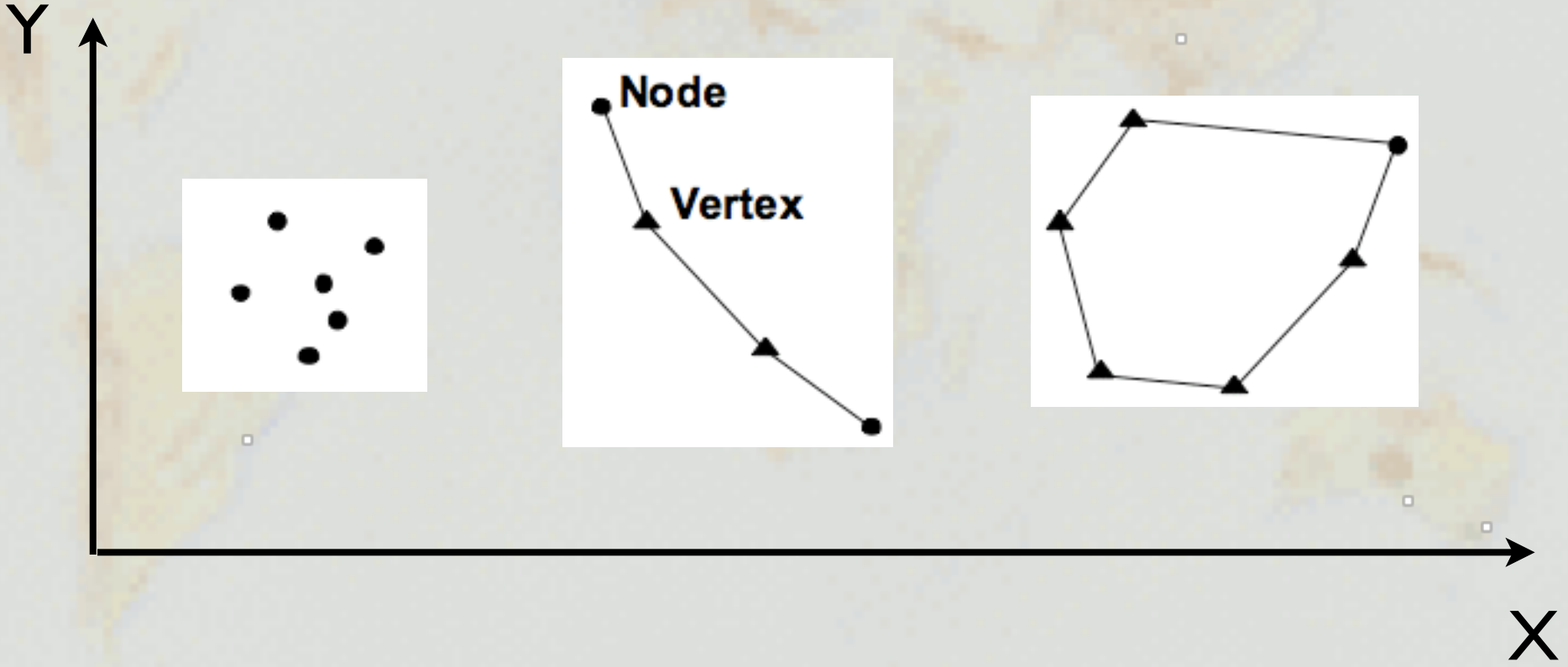
- punkter representar objekt utan utbredning, eller med för skalan irrelevant utbredning
- linjer knyter samman punkter till start-, bryt-, och stoppunkter
- ytor (polygoner) byggs upp av slutna linjer

Vektor data model

Puntker

Linjer

Ytor



Vektor data model

Precision och noggrannhet

- Objekt definieras av x,y koordinater relaterade till ett koordinatsystem (long/lat eller x,y).
- Presicion (upplösning) i koordinater beror på binär lagringsform (6-15 decimaler), men är ofta hög
- Noggrannheten i data oftast mer begränsande än upplösning

mapjourney.com

Vektor data model

Precision och noggrannhet

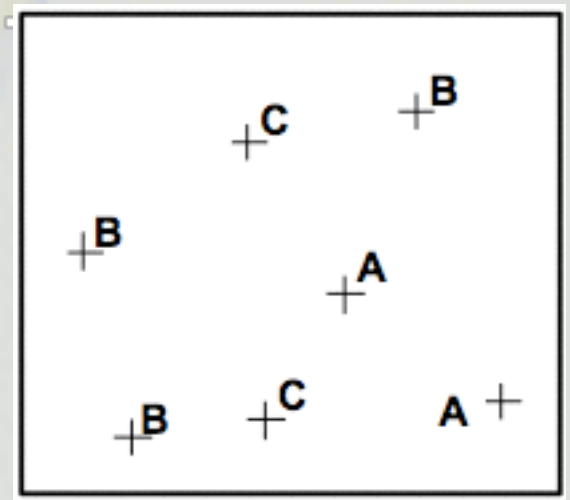
- Precision är det minsta avstånd mellan två intilliggande objekt som uppmätts och lagrats.
- Noggrannhet är frånvaro av fel
- Osäkerhet är ett mer generellt begrepp, och inkluderar både precision och noggrannhet.

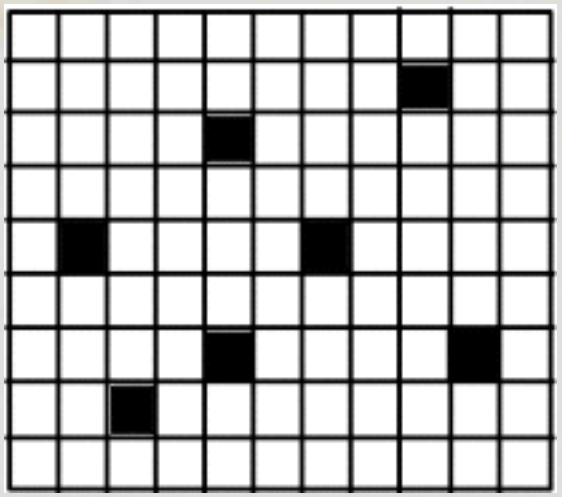
Vektor data model

Punktdata

● (x,y)

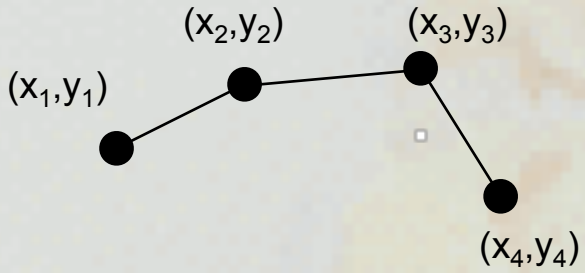
Flaggstång
Byggnad
Stad



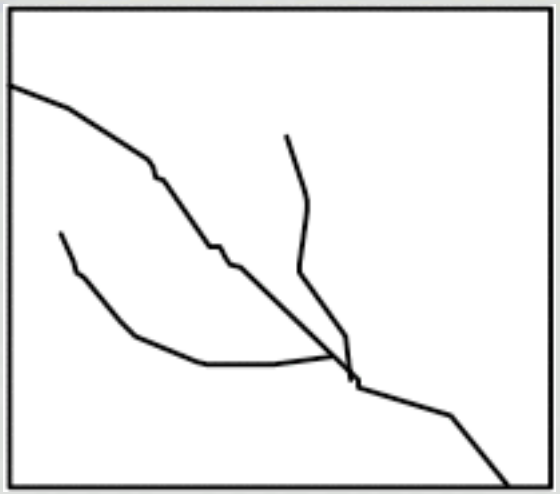


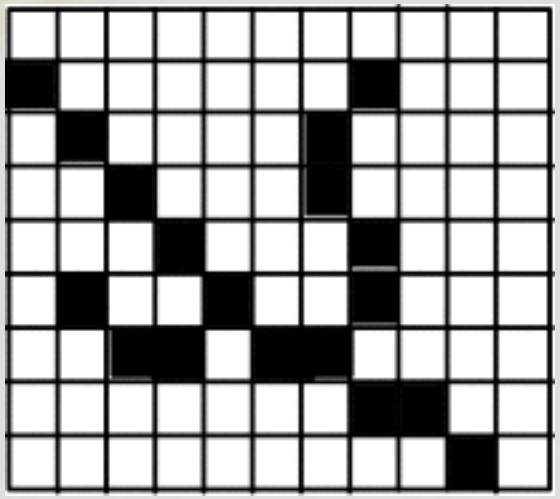
Vektor data model

Linjedata



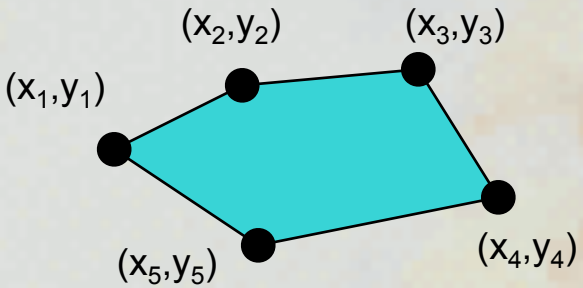
Vattendrag
Väg
Järnväg
Staket



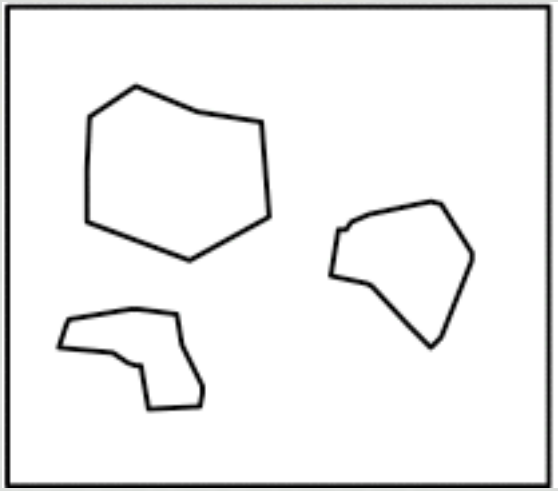


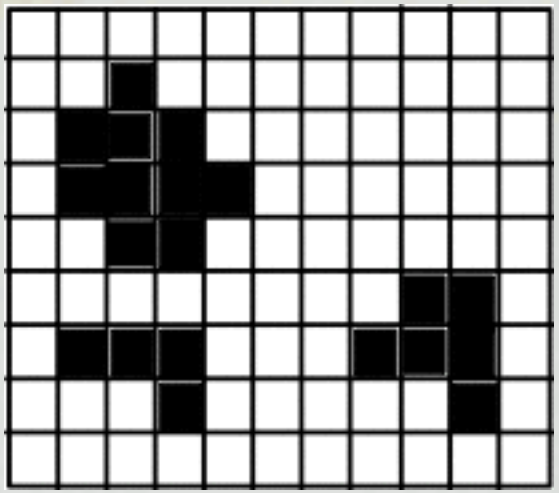
Vektor data model

Areadata



Sjö
Skog
Stad
Fastighet





Vektor data model

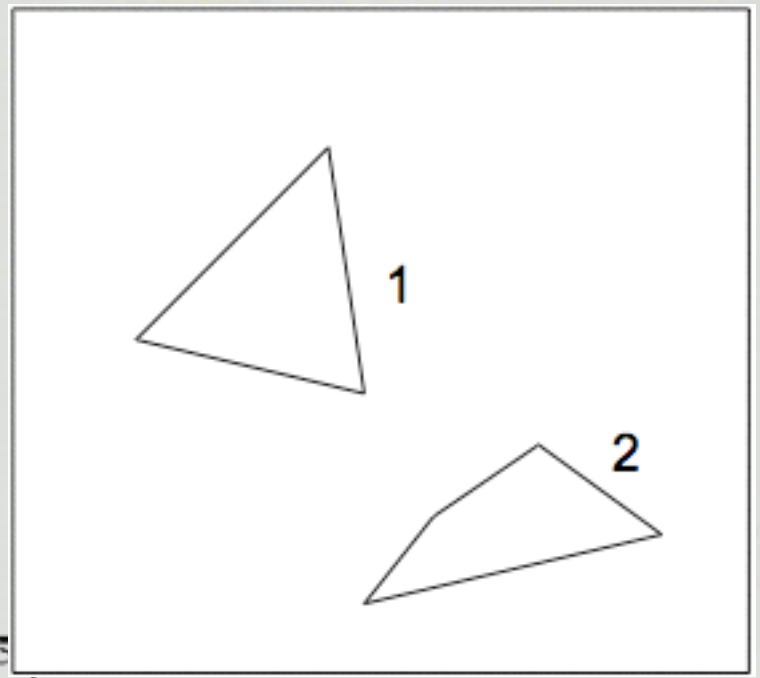
Tre huvudsakliga modeller för att lagra vektorer

- Enkel (eller spaghetti) data struktur
  - Ingen logik, dubblering av data (inom ett lager)
- Punkt listor
  - Ingen logik, ingen dubblering
- topologisk struktur
  - Logik, ingen dubblering

Vektor data model

Spaghetti vektor data model

Varje punkt, linje eller polygon lagras i en post (“record”) som innehåller Id och koordinater som definierar geometri (de första GIS-programmen hade spaghetti data struktur)



ID	Coordinates
1	(2,4), (4,3), (3,6) , (2,4),
2	(3,1), (5,2), (4,3), (3,2), (3,1)

Vektor data model

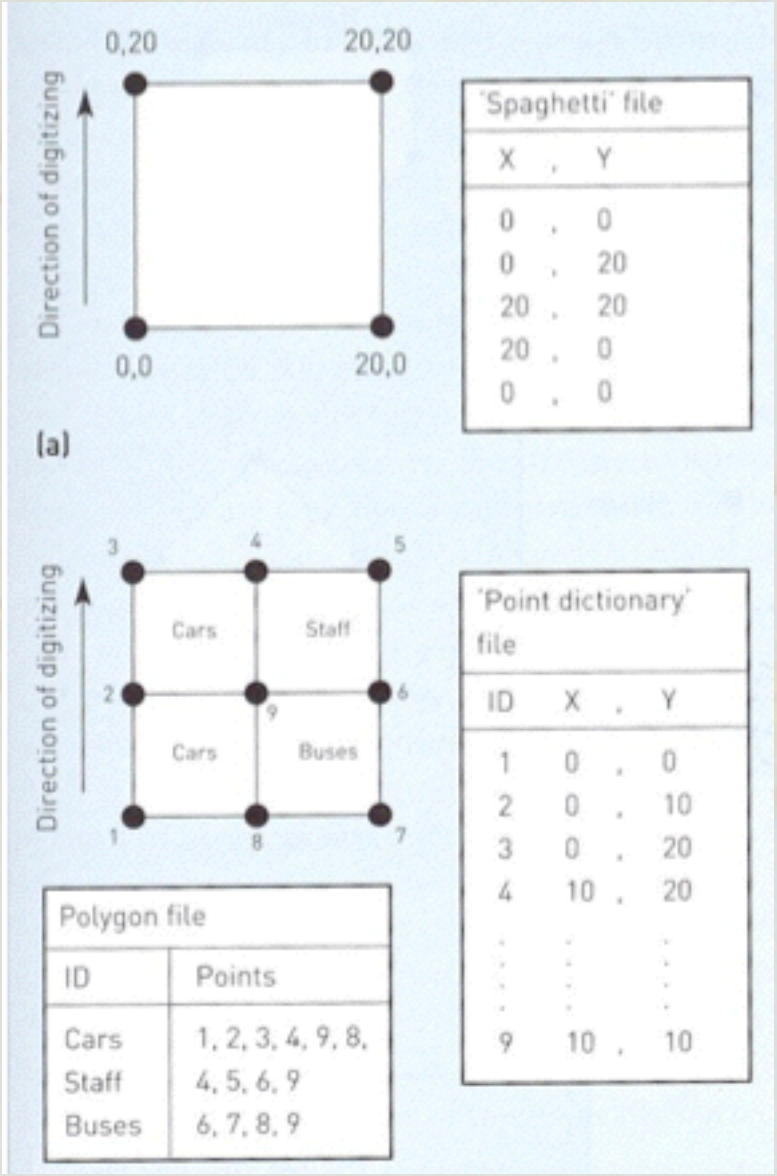
Spaghetti vektor data model

- Fördelar
  - enkelt
  - effektiv för display och utskrift
- Nackdelar
  - Ineffektivt för rumsliga analyser
  - och generaliseringar

Vektor data model

Punkt data struktur

Ingen data redundans
Ingen topologi

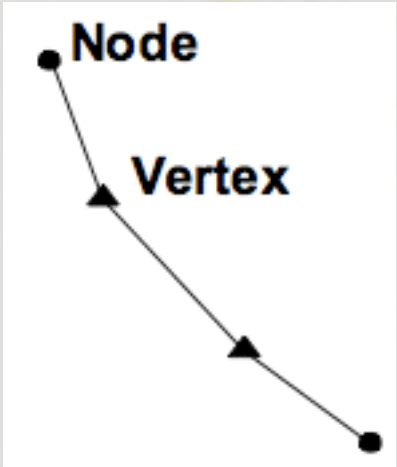


Vektor data model

Topologisk data struktur

Nätverkstopologi

kallas även "ark-nod" modellen
ark = linje
nod = slutpunkt på en linje, eller en punkt där en lijne splittras eller linjer går samman



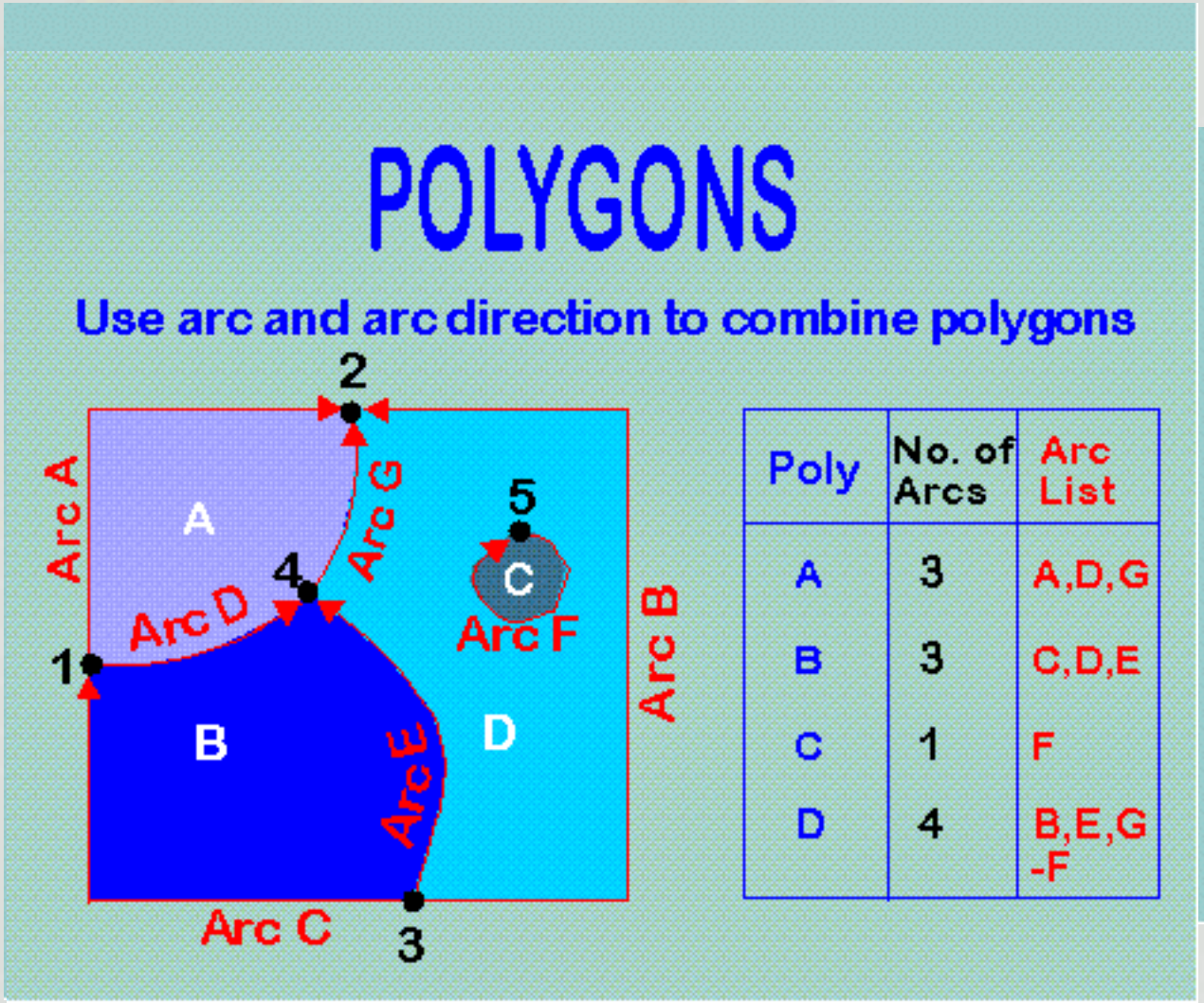
Vektor data model

Topologisk data struktur

- registrerar x/y koordinater av rumsliga objekt

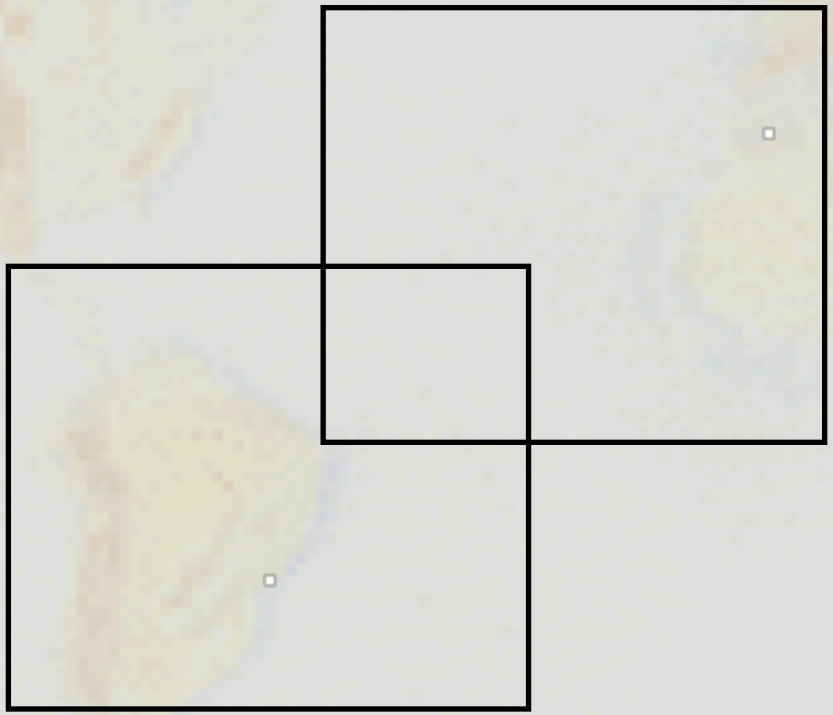
Kodar rumsliga relationer:

- vilka arkar kopplar till vilken nod
- vilka ytor ligger på sidorna av en ark
- vilka arkar bygger en polygon



Vektor data model

Spaghetti modell och topologisk model



Spaghetti: registrering som 2 eller 3 ytor

Topologiskt: registrering som 3 ytor

Vektor data model

topologisk vektor data model

- Fördelar
  - Rumsliga relationer är explicita
  - Rumslig analys utan koordinater möjlig
- Nackdelar
  - komplex data struktur
  - topologi måste omregistreras efter varje uppdatering

Fördelaktigaste systemet för flertalet användare

Jämförelse mellan raster och vektor

Raster

Fördelar

- Enkel och läsbar lagring.

- Enkelt att analysera (algoritmer från fjärranalys och bildbehandling)
  Enkla att kombinera (överläggning).

Nackdelar

- Kvalitet beror på pixel-storlek.

- Kräver mycket fysisk lagringskapacitet: grid formatet växer kvadratiskt när cellstroleken minskar.

Vektor

Fördelar

- Enkelt att skala om, kvalitet behålls vid transformaioner.

- Enkelt med topologiska och nätverksberäknignar.

- Effektivt utnyttjande av fysisk lagringskapacitet.

Nackdelar

- Beräkningsmässigt mer krävande för flera standardberäkningar (Filtrering, överläggning).

Jämförelse mellan raster och vektor

Raster

Fördelar

- Enkel och läsbar lagring.

- Enkelt att analysera (algoritmer från fjärranalys och bildbehandling)
  Enkla att kombinera (överläggning).

Nackdelar

- Kvalitet beror på pixel-storlek.

- Kräver mycket fysisk lagringskapacitet: grid formatet växer kvadratiskt när cellstroleken minskar.

Vektor

Fördelar

- Enkelt att skala om, kvalitet behålls vid transformaioner.

- Enkelt med topologiska och nätverksberäknignar.

- Effektivt utnyttjande av fysisk lagringskapacitet.

Nackdelar

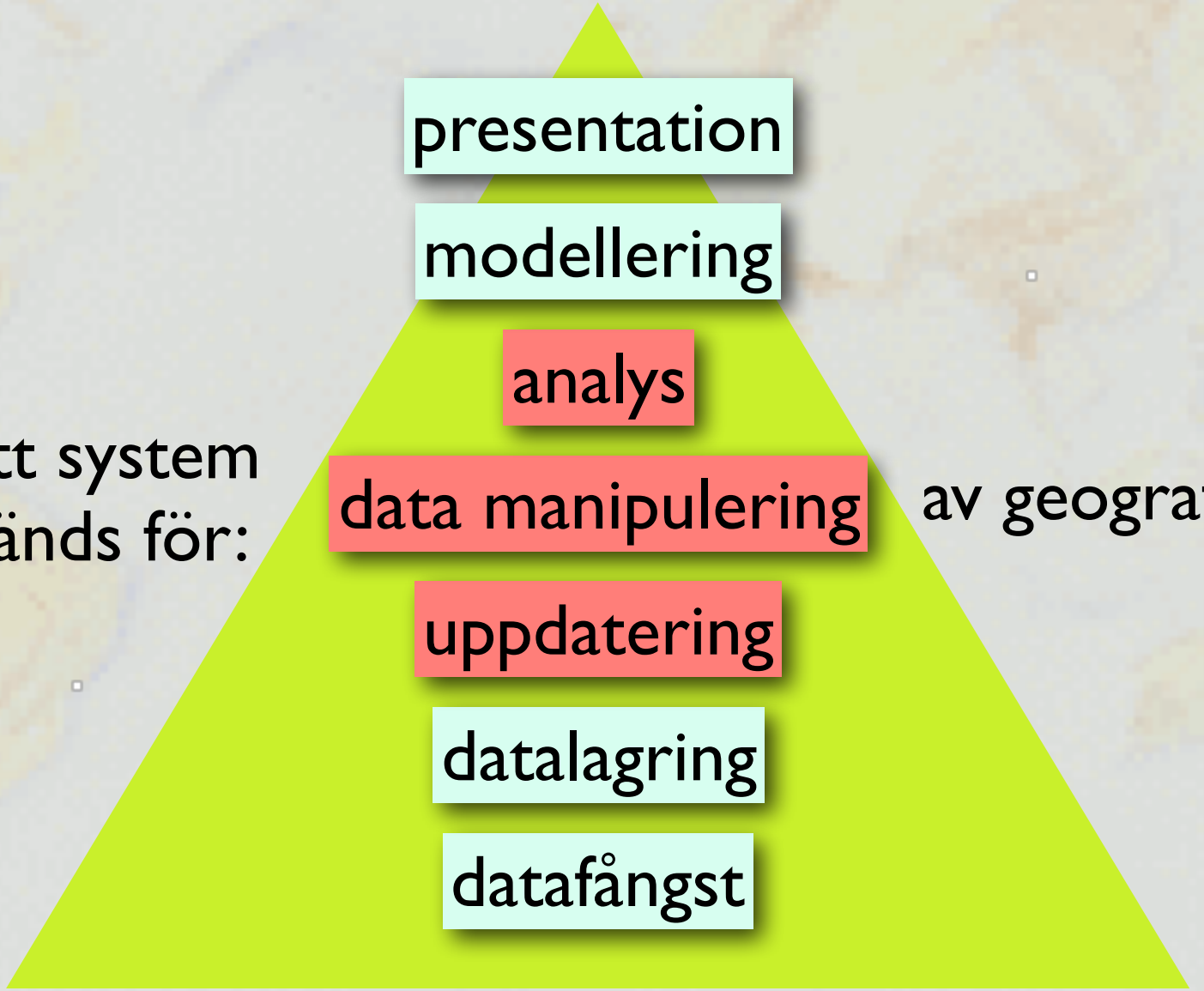
- Beräkningsmässigt mer krävande för flera standardberäkningar (Filtrering, överläggning).

Introduktion till databaser för Geografiska Informationssystem

- Databaser
- Databasutveckling
- Entitity-relationship-modellen (ER)
- Konkret exempel

Komponenter i GIS

GIS är ett system som används för:



av geografiska data

Databaser

- Databastekniken utvecklades på 1970 talet för flygbokningar etc
- Konceptuella metoder uppstod ungefär samtidigt, av vilka ER-modellen (Entity-Relationship-modellen) fortfarande används
- Objektmodellering (UML) är en modernare konceptuell metod, som liknar objekt-orienterad programmering med hierarkiska klasser och ärvda egenskaper.
- Den vanligaste formen av databas är RelationsDataBaser (RDB); när en konceptuell modell är klar översätts den till en RDB
- Vanliga RelationsDataBaser inkluder Access, DBase, Oracle, My SQL
- De flesta RDB har anammat samma standard för hur man ställer frågor - Standar Query Language (SQL)

Databaser

Databasutvecklingsprocessen

- Samla information
  - Vilka data ska med,
  - vad ska man använda data till,
  - vem ska kunna bearbeta data etc
- Ta fram en begreppsmodell
  - Formalisera ett databasschema
  - ERmodell
  - Objektmodell (UML)
- Anpassa databasshemat till relationsdatabassystem
- Skapa databasen i relationsdatabassystem

Databaser

Entitity-relationship-modellen

- Entiteter = logiska klasser hörande till databasen
- Samband = relationer mellan entiteter
- Attribut = datatyper som hör till entiteten

Databaser

Erfarenhetsregler

- 1. Lagra data i tabeller, där varje fält (kolumn) ska ha ett unikt namn och en entydig datatyp
- 2. Varje post (rad) i en tabell måste vara unik
- 3. Lägg fält vars värden förekommer i flera poster (rader) i tabellen i egna tabeller
- 4. Inga fält (kolumner) i tabellen får vara sammansatta av flera logiskt oberoende storheter
- 5. Inga fält (kolumner) i tabellen får innehålla upprepade värden av samma storhet

Bunta ihop reglerna 2,4 och 5 = första normalformen (1NF)

First Normal Form -> Second Normal Form -> Third Normal Form ->
-> Boyce-Codd Normal Form -> Fourth Normal Form ->
-> Fifth Normal Form -> Domain/Key Normal Form

Databaser

mapjourney punkthändelser - ett exempel

Händelse	
event_Id	Integer
explorer	Char
typ_id	Integer
comment	Char
longitud	real
latitude	real

Typ	
typ_id	Integer
Typnamn	Char

mapjourney.com

Databaser

mapjourney punkthändelser - ett exempel

Händelse

event_Id	Integer
explorer	Char
log_id	Integer
comment	Char
longitud	real
latitude	real

Log

log_id	Integer
Lognamn	Char
exp_id	Integer

mapjourney.com