

تشخیص محل و نوع شکستگی مهره ی
ناحیه ی کمر ستون فقرات بر اثر
فشاردگی در تصاویر سی تی توسط
الگوریتم های یادگیری ماشین

حمید یوسفی

فوق لیسانس هوش مصنوعی

دانشکده ی مهندسی برق، رایانه و فن آوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

استاد راهنما: دکتر امید سجودی

فهرست مطالب

- مقدمه و تعریف مساله
- انگیزه و اهمیت تحقیق
- اهداف تحقیق
- فرضیات، چالش های تحقیق
- مفاهیم اولیه
- پیشینه ی کارهای انجام شده
- روش پیشنهادی
- نتایج و آزمایشات
- نتیجه گیری
- پیشنهادات

مقدمه

طرح مساله

- درد قسمت کمر به عنوان دومین دلیل مراجعه به پزشک پس از سردرد میباشد و تقریباً ۸۰ تا ۹۰ درصد افراد حداقل یک بار در طول زندگیشان با آن مواجه بوده اند.



- بیماری های مربوط به دیسک و مهره
- شکستگی هایی که همراه فشرده شدن و کاهش قسمت بدنه ی مهره میباشد را شکستگی بر اثر فشردگی مهره ی Vertebral Compression Fracture مینامند .
- در اثر پوکی استخوان یا خوش خیم
- در اثر سرطان با بدخیم

طرح مساله



- شیوع این بیماری
 - افراد بالای ۵۰ سال
 - افرادی که دچار کمبود کلسیم شدید میباشند.
 - زنانی که زایمان های متعدد داشته اند.
- علایم ظاهری بیماری
 - همراه با درد شدید بوده و بیمار امکان حرکت ندارد.
 - بدون هیچگونه دردی و به طور اتفاقی یا با آزمایش تراکم استخوانی آشکار شود.
- عدم تشخیص و درمان به موقع
 - شکستگی مهره
 - اشکالات حرکتی بلند مدت
 - آسیب به بخشهای حساس دیگر ستون فقرات

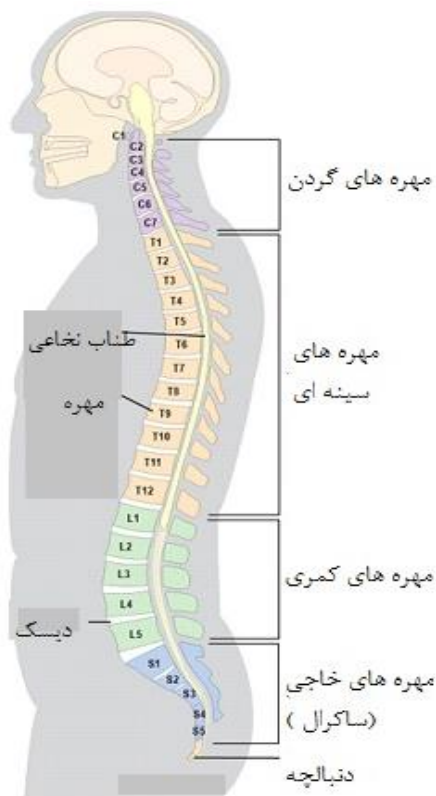
ضرورت و اهمیت

- هزینه های درمانی بالا و مرگی و میر ناشی از شکستگی های مهره
- نیاز به تجربه برای تشخیص بیماری توسط رادیولوژی ست
- امکان خطای انسانی در تشخیص بیماری
- شکستگی های استخوانی در سالمندان با زمین خوردن های نه چندان شدید
- ضرورت رسیدگی به این بیماری توسط سیستم بهداشت و درمان به دلیل افزایش امید به زندگی و پیر شدن سن افراد در جامعه
- تاثیر تشخیص محل بیماری در نوع آسیب های احتمالی به سایر بافت ها

Medical Imaging

تعاريف اوليه و پيشينه تحقيق

ساختار ستون فقرات



• دسته بندی مهره های ستون فقرات

- ۷ مهره ی ناحیه گردن
- ۱۲ مهره ی ناحیه سینه
- ۵ مهره ی ناحیه کمر
- مهره های خاجی

• بخش ها ی ستون فقرات

— بخش قدامی یا جلویی

- بدنه ی مهره
- دیسک های بین مهره ای

— بخش خلفی یا پشتی

- سوراخ مهره ای کانال نخاعی (طناب نخاعی)
- نخاع
- قوس مهره ای (لامینا)
- زائده ی مفصلی
- زائده ی عرضی

— رباط (لیگامان)

ادامه...

► مهره ها

► دیسک های بین مهره ای

► رباط ها



قسمت پشتی مهره (خلفی)



قسمت جلویی مهره (قدیمی)



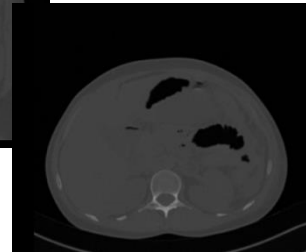
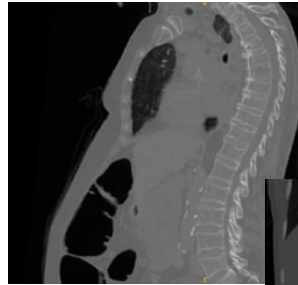
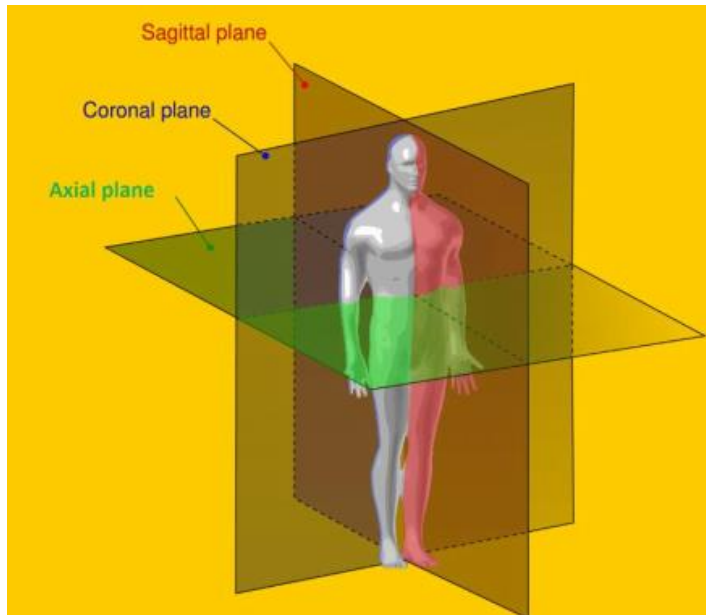
تصاویر پزشکی



- سی تی اسکن
- ام آر ای
- T1 Weighted –
- T2 Weighted –
- اشعه ی ایکس DXA

نمای تصاویر پزشکی

- سازیتال (در این تحقیق استفاده شده است)



- کرونال

- آکزیال

شکستگی مهره

- انواع شکستگی مهره

- بر اثر فشردگی (Compression)

- انفجاری (Burst)

- پیچش ناگهانی برعکس (Flexion Distinction)

- زائده جانبی ستون فقرات (Transverse Process)

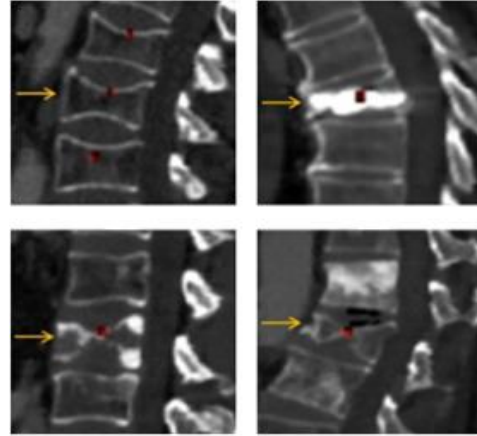
- دررفتگی مهره (Fracture Dislocation)



انواع شکستگی بر اثر فشردگی

- نوع بیماری

- بد خیم در اثر سرطان
- خوش خیم در اثر پوکی استخوان



- از نظر محل وجود ناهنجاری

- قسمت جلوی بدنه ی مهره Wedge
- قسمت میانی بدنه ی مهره Biconcave
- قسمت پشت بدنه ی مهره Crush



بررسی الگوریتم های انجام شده

- داده ها

- سی تی

- ام ار

- اتوماسیون

- خودکار

- نیمه خودکار

- دسته بندی

- تشخیص بیماری

- نوع خوش خیم/بدخیم

- ویژگیهای استفاده شده

- آنالیز شکل

- موفومتری و اندازه گیری

- زمینه و سطح خاکستری

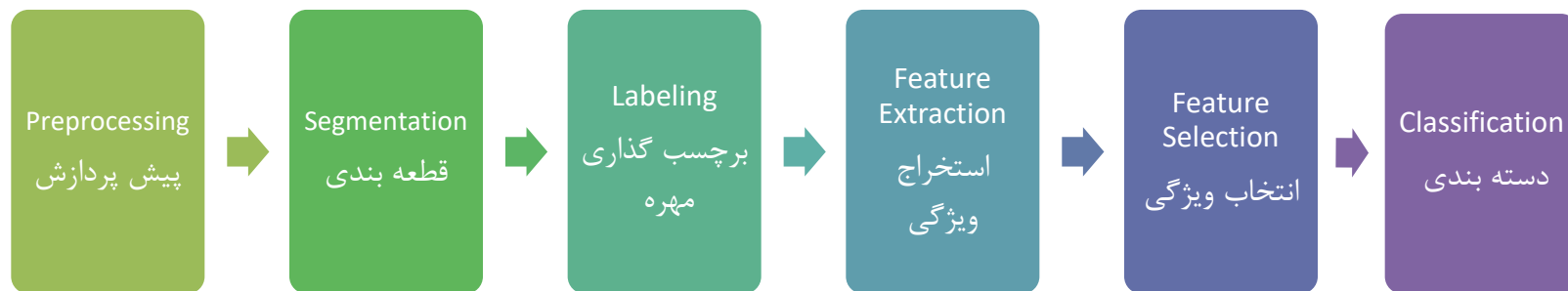
- ترکیبی

پیشینه ی تحقیق

رویکردها	نمونه	حساسیت	ویژگی	نقاط قوت	نقاط ضعف
قوش و العمری (۲۰۱۱)	۲۲۵	۶۶٪ و ۸۳,۳٪	ویژگیهای اندازه گیری	<ul style="list-style-type: none"> تشخیص درستی ۹۶٪ قطعه بندی خودکار محاسبه ارتفاع بدنه مهره خودکار 	<ul style="list-style-type: none"> ۸۰ درصد نمونه سالم تشخیص بیماری Wedge حساسیت ۸۳٪
الهلو و العمری (۲۰۱۲)	۲۲۵	۸۷,۱٪	ویژگیهای اندازه گیری	<ul style="list-style-type: none"> میزان حساسیت ۸۷٪ ویژگیهای سراسری واریانس مهره ها 	<ul style="list-style-type: none"> ۸۰ درصد نمونه سالم تشخیص بیماری Wedge
وانگ و همکاران (۲۰۱۶)	۲۵۰	۷۶٪ و ۹۰٪	ویژگیهای اندازه گیری، طولی، سن و جنسیت	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از ترکیب چند دسته بندی کننده برای تشخیص بیماری استفاده از نمای آکزیال برای استخراج ویژگی 	<ul style="list-style-type: none"> قطعه بندی دستی تشخیص مرز بدنه مهره دستی تعداد نمونه نامناسب
پریرا و همکاران (۲۰۱۵)	۱۰۲	مشخص نشده	ویژگیهای آنالیز شکل	<ul style="list-style-type: none"> استفاده از ویژگیهای شکل استفاده از نمای آکزیال 	<ul style="list-style-type: none"> استخراج ویژگی دستی تعداد نمونه نامناسب
پریرا و همکاران (۲۰۱۶)	۱۰۳	۸۱٪	ویژگیهای زمینه و سطح خاکستری و آنالیز شکل	<ul style="list-style-type: none"> ۸۶ درصد تشخیص تعیین وزن هر ویژگی در تشخیص بیماری و نوع خوش خیم. بدخیم 	<ul style="list-style-type: none"> قطعه بندی و تعیین ارتفاع مهره دستی جدا بودن فرایند تشخیص و نوع خوش خیم. بدخیم
مارکز و همکاران (۲۰۱۵)	۲۳۵	مشخص نشده	ویژگیهای طیفی و فراکتال	<ul style="list-style-type: none"> ۹۲ درصد تشخیص ویژگیهای شناخت جمعیتی 	<ul style="list-style-type: none"> میزان حساسیت نامناسب
متنز و مارکز و همکاران (۲۰۱۶)	۱۰۲	۷۲,۸٪	ویژگیهای آماری و طول و عرض مهره	<ul style="list-style-type: none"> ۹۲ درصد تشخیص 	<ul style="list-style-type: none"> تمام فرایند ها دستی بوده است جدا بودن فرایند تشخیص و نوع خوش خیم. بدخیم

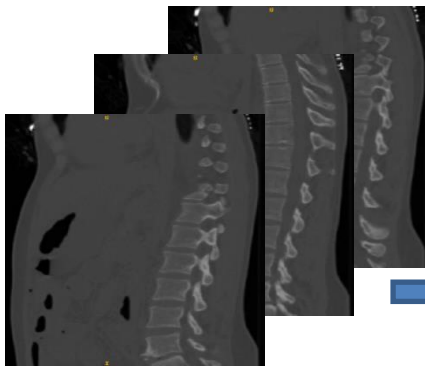
روش پیشنهادی

چارچوب روش پیشنهادی



روش پیشنهادی (ادامه...)

انتخاب اسلایس مناسب



قطعه بندی مهره

Active Contour Model

ITK

استفاده از مدل شکل
فعال برای یافتن مرز
بسته مهره های

قطعه بندی قسمت جلو
و پشت مهره ها



طبقه بندی



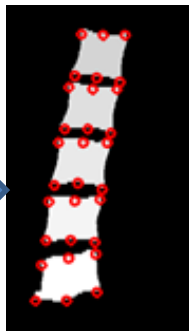
تشخیص بدنه ی مهره

تعیین نقاط روی
مرز بدنه ی مهره

برچسب گذاری
مهره

Active Contour Model

با استفاده از مرز بسته
ی فعال غیر پارامتری



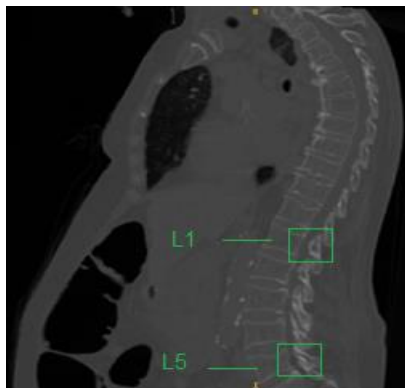
Feature Extraction &
Selection

- ویژگیهای مورفومتری
- ویژگی هیستوگرام
- ویژگیهای زمینه

انتخاب مناسبترین اسلایس



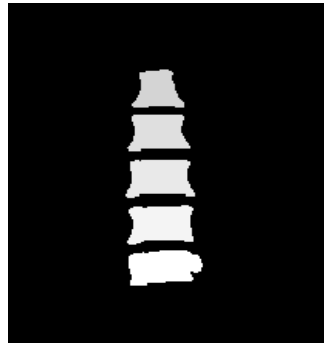
- وضوح مهره های ناحیه ی کمر و جدایی بخش جلویی مهره (بدنه ی مهره) با قسمت پشت مهره

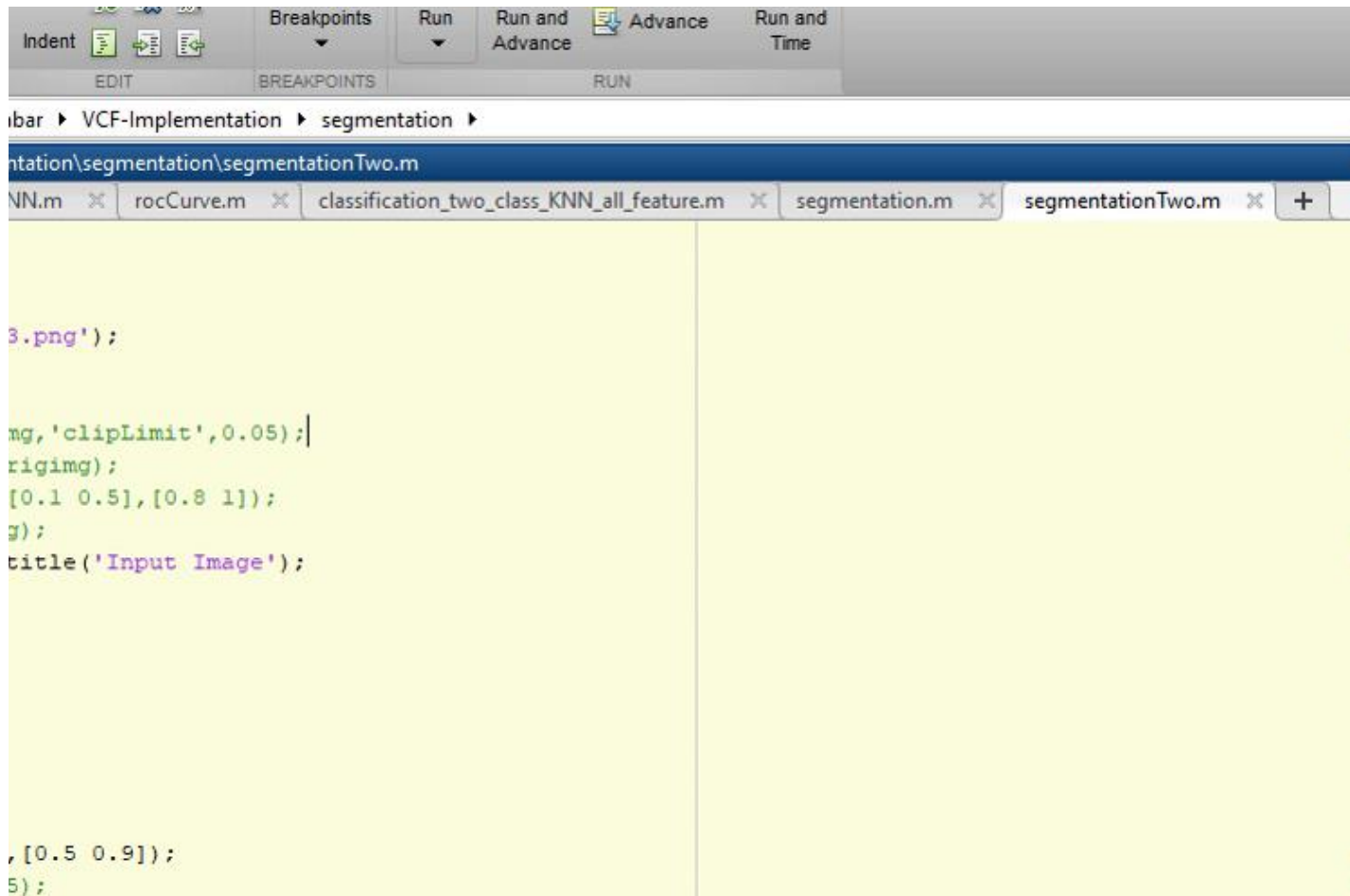


- اسلایسی که در آن لیگامان، لامینا و نخاع در پشت ناحیه ی مهره قابل نمایش باشد و مهره های L1 و L5 بیشترین فاصله را با آنها داشته باشند.

قطعه بندی

- مدل کانتور شکل فعال
- پروژه ی شخصی سازی شده ی ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit) با کامپایلر سی++
- تصویر قطعه بندی شده ی مهره های ناحیه کمر در ITK در سه زاویه ی نمایشی





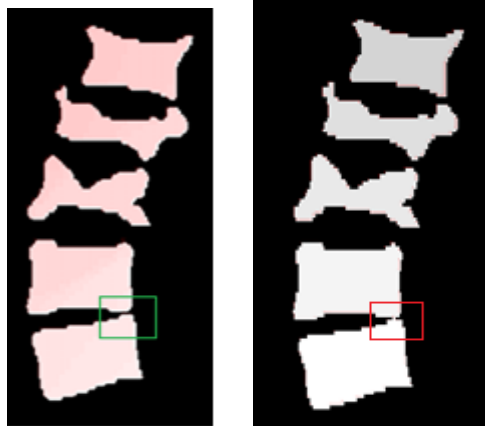
The image shows a MATLAB IDE window with the following components:

- Toolbar:** Includes buttons for Indent, Breakpoints, Run, Run and Advance, Advance, and Run and Time. Below these are tabs for EDIT, BREAKPOINTS, and RUN.
- Path Bar:** Shows the current directory as 'bar > VCF-Implementation > segmentation > '.
- File Explorer:** Displays the file 'segmentationTwo.m' in the current directory.
- Code Editor:** Contains the following MATLAB code:

```
3.png');  
  
img, 'clipLimit', 0.05);  
rigimg);  
[0.1 0.5], [0.8 1]);  
g);  
title('Input Image');
```
- Tab Bar:** Shows several open files: 'NN.m', 'rocCurve.m', 'classification_two_class_KNN_all_feature.m', 'segmentation.m', and 'segmentationTwo.m'.

جداسازی مهره های به هم چسبیده

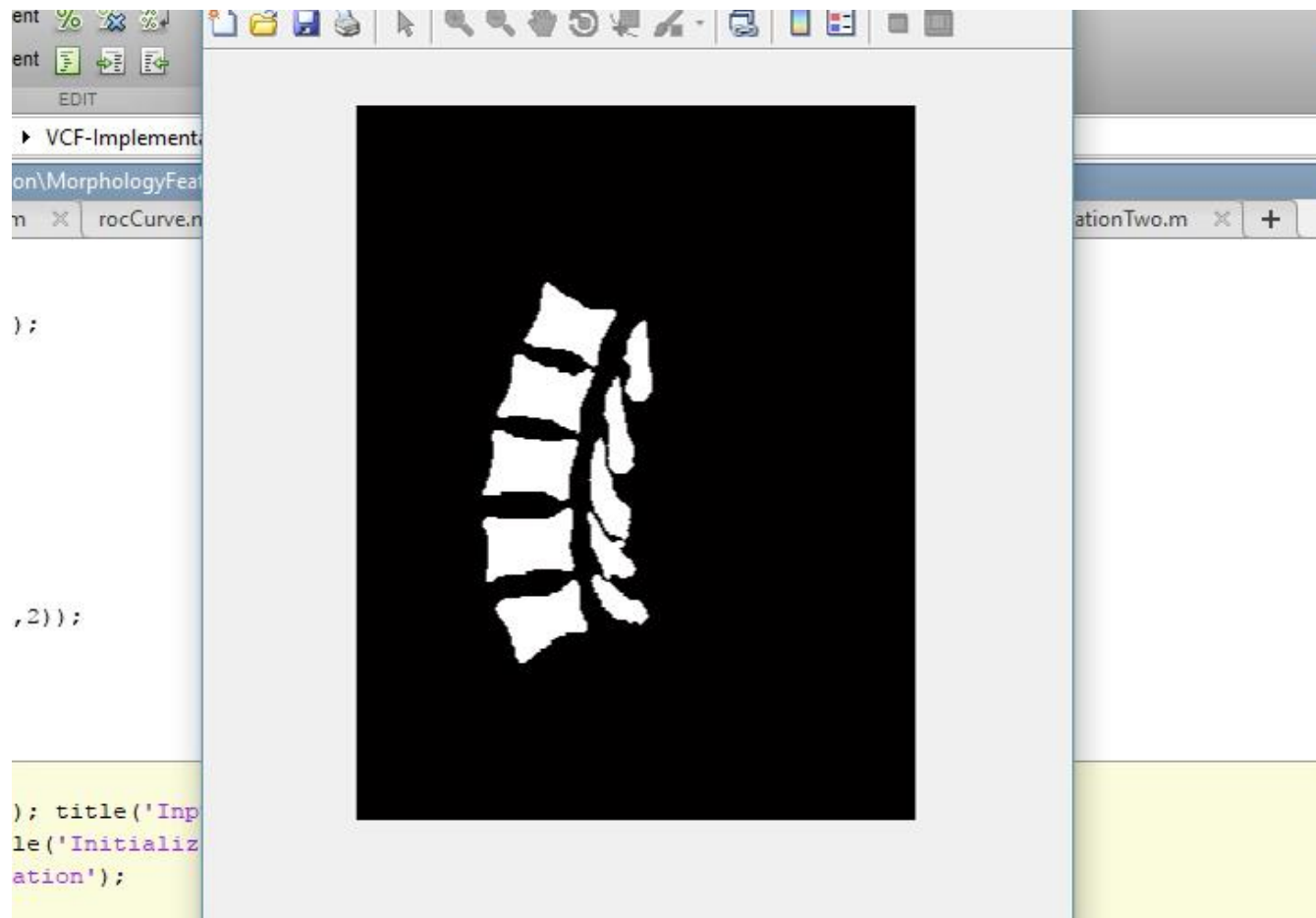
- جداسازی شی هایی که در یک پیکسل با هم مشترک هستند.



- با استفاده از توابع مورفولوژی Dilate و Erode

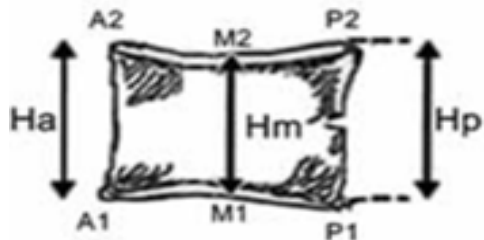
تشخیص بدنه ی مهره، برچسب گذاری و تعیین نقاط روی مرز بدنه ی مهره

- مدل کانتور شکل فعال
- ۲۸۰ تکرار در تشخیص مهره ها
- تشخیص مرز بدنه ی مهره
- جداسازی مهره ها
- برچسب گذاری مهره ها
- تعیین ۶ نقطه روی مرز بدنه ی مهره



تعیین نقاط روی مرز بدنه ی مهره

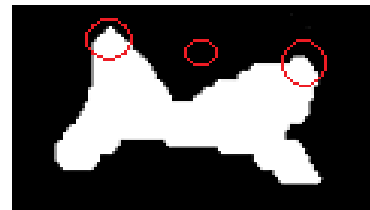
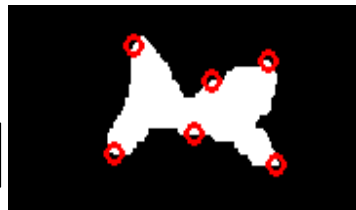
- چهار نقطه ی گوشه های بدنه ی مهره
- نقطه ی میانی دو گوشه ی بدنه ی مهره
- بهبود مکان نقطه های میانی با مرز بدنه ی مهره



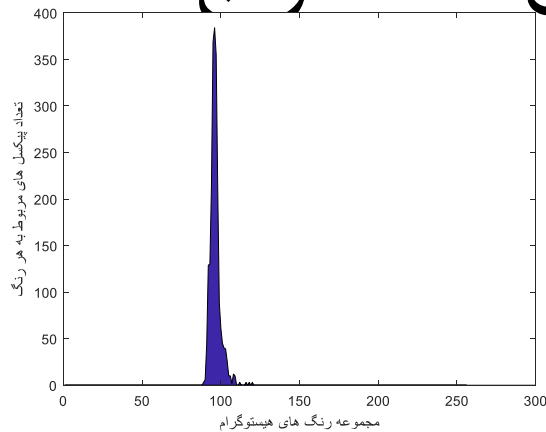
$$- H_p = ||P1 - P2||$$

$$- H_a = ||A1 - A2||$$

$$- H_m = ||M1 - M2||$$



ویژگیهای استخراج شده



- ویژگی های موفومتری
- ویژگیهای هیستوگرام
- ویژگیهای زمینه

– شدت نور Contrast

– همبستگی Correlation

– همگنی Homogeneity

– انرژی Energy

– `graycoprops(gldm,{'contrast','homogeneity','energy','correlation'})`

$$\sum_{i,j} |i - j|^2 p(i, j)$$

$$\sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

$$\sum_{i,j} \frac{p(i, j)}{1 + |i - j|}$$

$$\sum_{i,j} p(i, j)^2$$

ویژگیهای مورفومتری

- ارتفاع بخش جلوی بدنه ی مهره (HeightAnterior)

- ارتفاع بخش میانی بدنه ی مهره (HeightMiddle)

- ارتفاع بخش پشت بدنه ی مهره (HeightPosterior)

نام ویژگی	شرح ویژگی
Ha	ارتفاع قسمت جلوی مهره
Hp	ارتفاع قسمت پشت مهره
Hm	ارتفاع قسمت میانی مهره
Ha/Hp	نسبت ارتفاع جلو به پشت مهره
Hm/Hp	نسبت ارتفاع قسمت میانی به پشت مهره
Hp/Hp(-1)	نسبت ارتفاع قسمت پشت مهره به مهره ی بالایی
Hp/Hp(+1)	نسبت ارتفاع قسمت پشت مهره به مهره ی پایینی
Ha/Ha(-1)	نسبت ارتفاع قسمت جلوی مهره به مهره ی بالایی
Ha/Ha(+1)	نسبت ارتفاع قسمت جلوی مهره به مهره ی پایینی

پردازش روی مقادیر ویژگیها

- نرمالسازی
– کاهش واریانس با میانگین گیری

$$\sum_{i=1}^n \max(f(n)) \quad n = 25$$

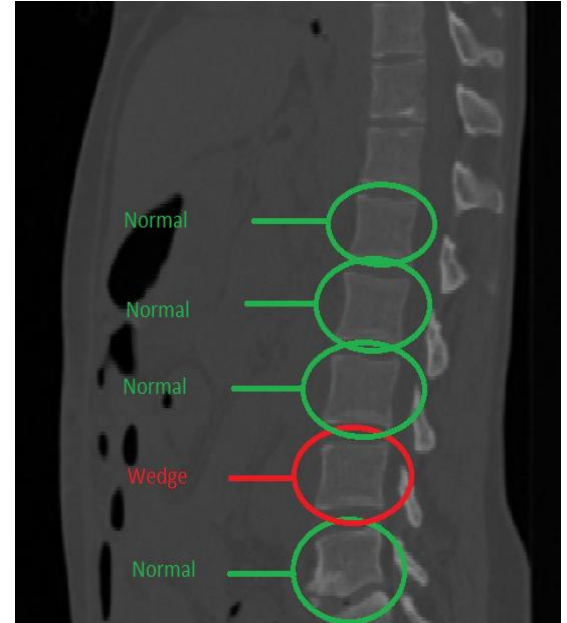
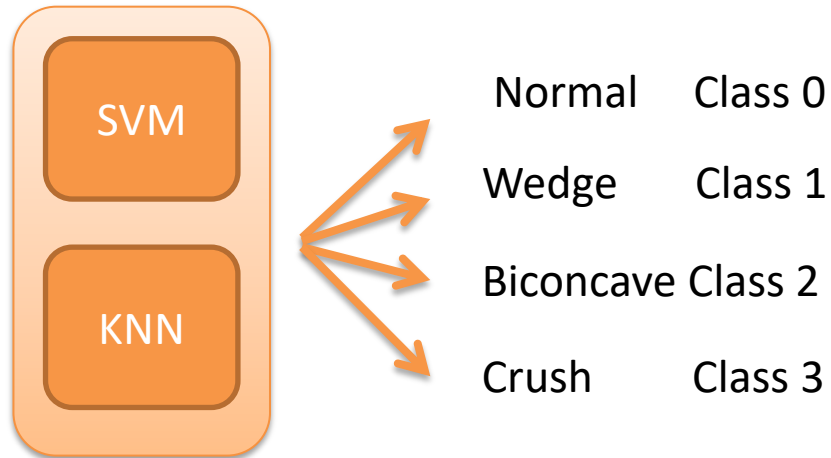
$$\sum_{i=1}^n f(n)/\max(value)$$

- Missing data
– میانگین مقادیر ویژگی در نمونه های دیگر
– ویژگی Hp/Hp(+1) و Ha/Ha(+1) برای L5

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n feature(missed)_i \quad n = 4$$

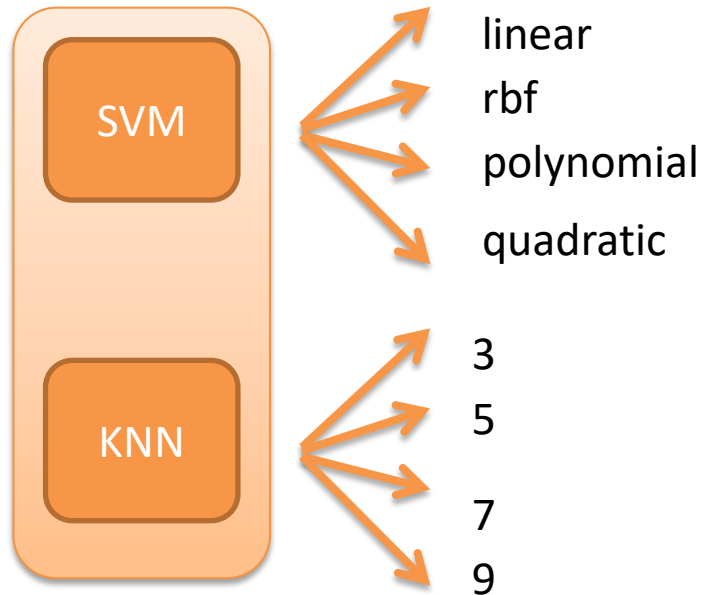
دو دسته طبقه بندی کننده

- طبقه بندی کننده

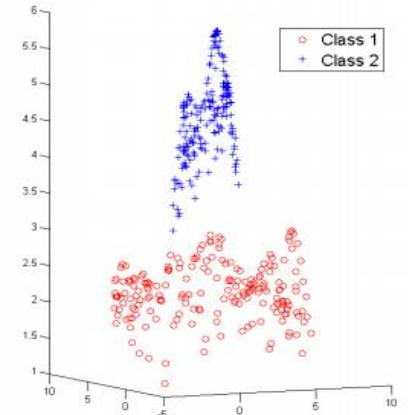
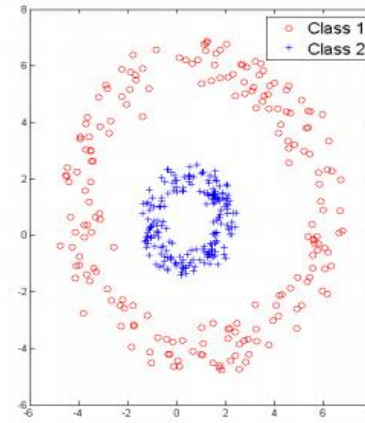


دو دسته طبقه بندی کننده

- طبقه بندی کننده



- رویکرد One versus All
- نگاشت فضای غیر خطی به خطی



آزمایشات و نتایج

نتایج و آزمایشات

- دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان SVM
- دسته بندی کننده ی با نظارت K نزدیکترین همسایه KNN
- روش ارزیابی
 - Random Sub Sampling (Train = 70% Test = 30%)
 - K Fold (5 and 10)
- پارامتر ارزیابی
 - درصد تشخیص درستی: Accuracy
 - حساسیت Sensitivity: $TPR = \frac{TP}{P}$
 - ویژگی Specificity: $TNR = \frac{TN}{N}$
 - نرخ خطا تشخیص سالم برای مهره بیمار $FNR = 1 - TPR$
 - ماتریس Confusion

تشخیص بیماری شکستگی فشرده

- بر مبنای ویژگی های هیستوگرام با روش Random Sub Sampling

Specificity	Sensitivity	Accuracy	دسته بندی کننده
۳۴,۸۴٪	۶۹,۰۳٪	۵۶,۹۷٪	KNN=۳
۲۹,۴۴٪	۷۶,۰۳٪	۵۹,۳۵٪	KNN=۵
۲۸,۱۲٪	۷۷,۵۱٪	۶۰,۲۱٪	KNN=۷
۲۲,۲۷٪	۷۸,۳۱٪	۵۸,۶۷٪	KNN=۹

تشخیص بیماری شکستگی فشردهگی (ادامه...)

- بر مبنای ویژگیهای زمینه با روش ارزیابی Random Sub Sampling

Specificity	Sensitivity	Accuracy	دسته بندی کننده
۴۳,۰۱٪	۶۶,۰۹٪	۵۷,۹۵٪	KNN=۳
۳۸,۰۰٪	۶۷,۱۵٪	۵۶,۷۷٪	KNN=۵
۳۳,۰٪	۷۰,۹۲٪	۵۷,۵٪	KNN=۷
۲۳,۵۳٪	۷۵,۶۷٪	۵۷,۰۸٪	KNN=۹

تشخیص بیماری شکستگی فشردهگی (ادامه...)

- بر مبنای ویژگیهای موفومتری با روش ارزیابی Random Sub Sampling

FNR	Specificity	Sensitivity	Accuracy	دسته بندی کننده
%۱۴.۴۳	۸۰,۶۹%	%۸۵.۵۷	%۸۴.۷۴	KNN=۳
%۱۴.۷۳	۸۵,۰۹%	%۸۵.۲۷	%۸۵.۳۲	KNN=۵
%۱۲.۵۷	۸۷,۱۴%	%۸۷.۴۳	%۸۶.۱۴	KNN=۷
%۱۶.۶۵	%۸۹.۵۱	۸۳,۳۵%	%۸۵.۵۶	KNN=۹
%۱۲.۹۴	۸۷,۷۹%	۸۷,۰۶%	۸۴,۱۰%	ماشین بردار پشتیبان (linear)
%۱۵.۹۷	۸۱,۹۰%	۸۴,۰۳%	۸۳,۲۹%	ماشین بردار پشتیبان (rbf)
%۱۶	۸۱,۶۴%	۸۴,۰۰%	۸۳,۰۸%	ماشین بردار پشتیبان (polynomial)
%۱۹.۹۳	۸۷,۹۱%	۸۰,۶۷%	۸۲,۹۱%	ماشین بردار پشتیبان (quadratic)

تشخیص بیماری شکستگی فشردهگی (ادامه...)

- بر مبنای ویژگیهای موفومتری با روش ارزیابی K=10 Fold Cross Validation

FNR	Specificity	Sensitivity	Accuracy	دسته بندی کننده
۲۰٪	۹۱,۲۵٪	۸۰٪	۸۷,۵٪	KNN=۳
۷.۵٪	۸۳,۸۵٪	۹۲.۵٪	۸۸,۳٪	KNN=۵
۷.۹۵٪	۸۱,۸۵٪	۹۲.۰۵٪	۸۶,۶٪	KNN=۷
۱۰٪	۸۵٪	۹۰٪	۸۶,۶٪	KNN=۹
٪۰	۷۵٪	۱۰۰٪	۸۳,۳٪	ماشین بردار پشتیبان (linear)
۱۷.۵٪	۸۵٪	۸۲,۵٪	۸۴,۱۶٪	ماشین بردار پشتیبان (rbf)
۲۰٪	۸۳,۷۵٪	۸۰٪	۸۲,۵٪	ماشین بردار پشتیبان (polynomial)
۷.۵٪	۸۳.۷۵٪	۹۲,۵٪	۸۶.۶٪	ماشین بردار پشتیبان (quadratic)

ماتریس Confusion

• KNN=3 K 10 Fold Cross Validation

تشخیص رادیولوژی ست		سیستم خودکار
Normal	VCF	
۳۲	۷	Normal
۸	۷۳	VCF

• KNN=5 K 10 Fold Cross Validation

تشخیص رادیولوژی ست		سیستم خودکار
Normal	VCF	
۳۴	۸	Normal
۶	۷۲	VCF

تشخیص نوع شکستگی فشاردگی مهره

- تشخیص محل وجود ناهنجاری با رویکرد ارزیابی Random Sub Sampling

دسته بندی کننده	Accuracy
KNN=۳	٪۸۰.۳۳
KNN=۵	٪۸۰.۳۹
KNN=۷	٪۸۱
KNN=۹	٪۸۰.۵۹
ماشین بردار پشتیبان (linear)	۸۴,۹۲٪
ماشین بردار پشتیبان (rbf)	۸۵,۳۱٪
ماشین بردار پشتیبان (polynomial)	۸۴,۰۵٪
ماشین بردار پشتیبان (quadratic)	۸۴,۶۱٪

تشخیص نوع شکستگی فشاردگی مهره

- تشخیص محل وجود ناهنجاری با رویکرد ارزیابی K=5 Fold Cross Validation

دسته بندی کننده	Accuracy
KNN=۳	٪۸۰
KNN=۵	٪۸۰.۸۳
KNN=۷	٪۸۲.۵
KNN=۹	٪۸۳.۳
ماشین بردار پشتیبان (linear)	٪۸۵.۹۳
ماشین بردار پشتیبان (rbf)	٪۸۶.۲
ماشین بردار پشتیبان (polynomial)	٪۸۵.۰۲
ماشین بردار پشتیبان (quadratic)	٪۸۳.۰۳

Confusion ماتریس

SVM with K 5 Fold Cross Validation •

تشخیص رادیولوژی ست				سیستم خودکار
Crush	Biconcave	Wedge	Normal	
۴	۵	۴	۳۹	Normal
۱	۰	۱۳	۰	Wedge
۲	۴۰	۲	۱	Biconcave
۸	۰	۱	۰	Crush

Confusion ماتریس

KNN=9 with K 5 Fold Cross Validation •

تشخیص رادیولوژی ست				سیستم خودکار
Crush	Biconcave	Wedge	Normal	
۴	۱	۲	۴۰	Normal
۱	۰	۱۳	۰	Wedge
۲	۳۹	۴	۵	Biconcave
۸	۰	۱	۰	Crush

نتیجه گیری

عملکرد نهایی روش پیشنهادی

Specificity	Sensitivity	Accuracy	رویکرد ارزیابی	دسته بندی کننده
۸۳,۸۵٪	۹۲,۵٪	۸۸,۳٪	K Fold 10	KNN=5
۸۷,۱۴٪	۸۷,۴۳٪	۸۶,۱۴٪	Random Sub Sampling	KNN=7

Accuracy	رویکرد ارزیابی	دسته بندی کننده
۸۸,۳٪	K Fold 5	ماشین بردار پشتیبان (quadratic)
۸۶,۱۴٪	Random Sub Sampling	ماشین بردار پشتیبان (rbf)

- عملکرد بهتر KNN به نسبت SVM خطی و غیر خطی
- استفاده از ویژگیهای مورفومتری
- بهبود پارامتر حساسیت در تشخیص بیماری
- عدم توانایی تشخیص توسط ویژگیهای هیستوگرام و زمینه

عملکرد نهایی روش پیشنهادی (ادامه)

- تشخیص بیماری

Accuracy	Sensitivity	روشها
۸۹٪	۸۱٪	لوکاس فریتو و همکاران
۹۴,۶۶٪	۶۶,۶٪ و ۸۳,۳٪	قوش و همکارانش
۹۳,۲۰٪	۸۷,۱٪	ال هلو العمری
-	۹۰٪ و ۶۶٪	وانگ
۸۸,۳٪	۹۲,۵٪	روش پیشنهادی ما

عملکرد نهایی روش پیشنهادی (ادامه)

- پیاده سازی روش های پیشنهادی روی دیتاست xVertSeg

Accuracy	Sensitivity	روشها
۶۸,۹٪	۷۸,۰۲٪	لوکاس فریتو و همکاران
۸۲,۲۱٪	۸۴,۰۸	قوش و همکارانش
۸۴,۳۹٪	۸۰٪	ال هلو العمری
۸۸,۳٪	۹۲,۵٪	روش پیشنهادی ما

عملکرد نهایی روش پیشنهادی (ادامه)

نقاط قوت

- تشخیص خودکار نقاط مرز بدنه ی مهره
- جداسازی مهره های به هم چسبیده
- ویژگیهای یکسان تشخیص بیماری و محل آن
- میزان حساسیت مناسب

نیاز به بهبود

- انتخاب ویژگی برای تشخیص Crush

پیشنهادهای و کارهای آتی

کوتاه مدت

- استخراج ویژگی برای تشخیص Crush
- پیاده سازی بر روی دیتاست تصاویر ام ار جمع آوری شده از بیمارستان امام خمینی
- استفاده ی همزمان از تصاویر نمای ساژیتال و آکزیال
- شدت کاهش ارتفاع برای سیمان زنی بدنه ی مهره

بلند مدت

- ساخت CAD سیستم
- تشخیص خوش خیم و بد خیم بودن بیماری
- بررسی فشار وارد شده به بخش پشت
- تشخیص بیماری Spondylolisthesis
- تشخیص بیماری اسکولیوس

با سپاس از توجه شما