

Araştırmalarımın Özeti ve Dosya Düzeni

Bu doküman, doçentlik derecesi sonrası çalışmalarıma ağırlık vererek, bugüne değin yaptığım araştırmaları ve katkılarımla gerek kendi içlerinde gerekse alan içinde bir perspektife oturtmak ve doçentlik öncesi yapmış olduğum yayınlar ile ilişkilendirmek amacını taşımaktadır. Dosyada bugüne değin yapmış olduğum yayınlar 5 sekmeye ayrılmış olarak verilmektedir. Sekmeler ile ilgili renk kodları (■ ■ ■ ■ ■), erişim kolaylığı düşünülerek yayın listesinde ve bu dokümanda kullanılmaktadır. Her bir sekme içinde bulunan mavi renkli sayfa, yayınları başlıca yazar olduklarım ve başlıca yazar olmadıklarım şeklinde ikiye ayırmaktadır. Ortak çalışmalar, asistan olarak katkı verdiğim yayınlar, ve öğrencilerimin tez çalışmalarının son aşamalarında kendilerince kaleme alınmış sonuçlar ikinci grupta yer almaktadır.

Çalışmalarımı bilgisayar bilimleri, elektrik mühendisliği ve matematiğin kesişiminde yer alan ve görsel algılamaya problemini hesaplama olarak incelemek anlamına gelen hesaplamalı görü (*computational vision*) alanında yaptım. Hesaplamalı yaklaşım, görsel algılamının sistematik olarak incelenmesine olanak veren bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın ardında yatan temel düşünce, görsel algılamının karmaşık bir bilgi işleme ve hesaplama dizgesi olduğudur. Hesaplamalı görü, girdi olarak retina ya da benzeri bir ortama düşmüş olan görüntüyü alıp görüntülenen olguya ilişkin çıkarımlar yapabilen hesaplamaları bulmayı konu edinir. Bir yandan pratik mühendislik problemlerindeki önemi, örneğin görüntü tabanlı robotlar, diğer yandan memelilerin görsel algı sistemlerinin anlaşılmasındaki önemi, hesaplamalı görüyü son 30 yıl içinde başlı başına bir alan haline getirmiştir.

Hesaplamalı görüde birbiri ile bütünleşik düşünülmesi gereken üç çözümlene düzeyi vardır. Kuramsal düzey olarak adlandırılan birinci düzey, ne hesaplanıyor ve neden hesaplanıyor sorusuna yanıt arar. Algoritma düzeyi olarak adlandırılan ikinci düzey, nasıl hesaplanıyor sorusuna yanıt arar. Gerçekleştirim düzeyi olarak adlandırılan üçüncü düzey ise, söz konusu hesaplamaların belirli bir donanımda nasıl gerçekleştirildiği ile ilgilendirir. Bir hesaplama bilimcisi olarak benim bu alandaki çalışmalarım, kuramsal düzeyi gözardı etmeden, algoritma düzeyi olarak adlandırabileceğimiz ikinci düzeye yoğunlaşmıştır. Verilen bir görüntünün bilgisayar yardımı ile matematiksel olarak gürültü ve gereksiz detaydan arındırılması ve insan algısı ile uyumlu bir şekilde temsil

edilmesi ile uğraşmaktayım. Çalışmalarımın detayını vermeden önce, bu konudaki geleneksel yaklaşıma değineceğim.

Geleneksel yaklaşım

Geleneksel olarak gorsel algılama süreci aşağıdan yukarıya doğru hiyerarşi ile işleyen alt süreçler olarak tanımlanır. Örneğin, bulanık ya da karlı bir görüntünün iyileştirilmesi, hiyerarşide en alt süreçtir. Öte yandan, şekillerin gerçek nesnelere ya da birbirleri ile ilişkilendirilmeleri üst süreçlerdir.

Tarihsel olarak geleneksel yaklaşımın kanıksanmış olmasının iki temel nedeni vardır:

- (*Bilişsel Sinirbilim bakış açısından*) Yapılan deneyler V1 görme alanının (primary visual cortex) retinadan gelen verileri alıp, bağlamdan bağımsız ve lokal bir takım ön işlemler uygulayarak çıktılarını V2 görme alanına gönderdiğini göstermiştir. Bunun doğal sonucu olarak V1 bölgesini temsil eden birinci modülün görüntü süzme ve lokal kontrast farklarını yakalama görevini tamamlayıp, daha global inceleme gerektiren işlemleri (örneğin, nesnelere karşılık gelen bölgelerin ayrıştırılması anlamına gelen görüntü bölütleme) bir üst modüle bırakması pratiği yerleşmiştir.
- (*Hesaplama bakış açısından*) Gorsel algılama probleminin karmaşıklığı, hesaplamalı görü sisteminin daha kolay modellenebilecek bağımsız alt modüllere bölünmesine sebep olmuştur. Her bir modül için, ilgili alt probleme uygun, matematiksel (gösterim, çözümlenme, modelleme) tekniklerin kullanımı yaygın pratiğe yansımıştır.

Alt süreçleri gerek birbirlerinden gerekse önceden öğrenilmiş bilgiler, alışkanlıklar ve amaçlardan soyutlayarak modelleme yaklaşımı yeterince başarılı sonuçlar vermemiştir. Daha sorgulayıcı ve şüpheli şekilde tasarlanan ve yeni gelişen işlevsel görüntüleme araçlarını kullanarak tekrar edilen *Bilişsel Sinirbilim* deneyleri, geleneksel aşağıdan yukarıya doğru hiyerarşi ile işleyen modüler yaklaşımın bir mit olduğunu göstermiştir. V1 görme alanının V2 görme alanına gönderdiği bilginin, V1 görme alanına geri döndüğü ve V1 deki işlemleri etkilediği, yani bir geri besleme mekanizmasının olduğu deneysel olarak gözlenmiştir. Yukarıdan aşağıya doğru işleyen bir akışın varlığı yine deneylerle desteklenmiştir.

Çalışmalarım ve alan içindeki konumları

Benim çalışmalarımın önemli katkısı, farklı görsel düzeylerdeki modüllerin matematiksel olarak bütünleştirilmesi ve bağlamın (*context*) rolünün irdelenmesidir.

Geleneksel yaklaşım altında, modüllerin gerek birbirleri gerekse bağlam ile bütünleştirilmeleri çok güçtür ve iyi formüle edilemezler. Bu, farklı dilleri ve sosyal değerleri olan insanların iletişimidaki zorluk gibidir. Yazılmamış kurallar, yüz ifadelerinin anlamı gibi ortak olmayan bir çok şey vardır. Modüller arası geri besleme mekanizmaları tasarımı da aynı nedenle güç olmaktadır.

Benim izlediğim ve savunduğum yaklaşım aynı matematik dilin, görsel algılamanın bütün süreçlerinde geçerli kalabilmesidir. Matematiksel araçlarım varyasyonlar hesabı, kısmi ve adi diferansiyel denklemler, sonlu farklar yöntemi ve matematiksel morfolojiden oluşmaktadır. Son yıllarda spektral bakış açısı da çalışmalarıma girmektedir. (Çalışmalarımda doğrudan hiç kullanmadığım halde, Fourier dönüşümü hem analiz hem sentez işlemini aynı formülle yapıyor olması açısından hayran olduğum bir yöntemdir.)

Aynı matematik dilin, görsel algılamanın bütün süreçlerinde geçerli kalabilmesi konusunda özgün katkıları 1996 yılında tamamlanmış doktora tezim ile başlar. Shape Representation and Analysis without Segmentation başlıklı tezimde, şekil iskeletleri ve şekil çizgilerinin hesaplanması işlemini, görüntü süzme ve görüntü bölütleme işlemleri ile aynı anda ve aynı kısmi diferansiyel denklem seti aracılığın ile yapan ilk yaklaşım sunulmuştur.

Çalışmaya gösterilen ilgi son yıllarda artma göstermektedir, buna karşın aynı matematik dilin, görsel algılamanın bütün süreçlerinde geçerli kalabilmesi konusundaki ısrarım, özellikle doğrudan uygulama açısından bakan kişilerce eleştiriye uğrayabilmekte ve bazen sonuçlarımla state-of-the art gerisine düşmesine yol açmaktadır. Bir örnek oluşturması açısından revizyon almış ■ ERDEM E. and Tari, S.: Skeletons from natural images, makalesine 3. hakemin kabul ve 1. hakemin verdiğın yeniden gönderilme önerilerine burada yer vereceğım:

Reviewer: 3

Recommendation: Accept With No Changes

Comments:

This is a very interesting paper. At first it makes claims that I read and interpreted differently, so I think the authors can improve on the presentation. So what is the issue? The word skeleton for the audience of PAMI is not the math solution "v" of the equations but it is the "skeletons" of shapes. I think the method proposed does not deliver the second to acceptable standards of the PAMI audience. However, the method propose, I believe, push the subject in the right direction. I see the work more like a direction of research, with some preliminary results (that justify a paper) rather than a method that will deliver "skeletons" from most images. I may add, there is evidence in human vision (I don't have the reference, but the authors may investigate) that the same cells that detect boundaries in 100 ms, will later (500 ms) detect symmetries. This approach could well be a basis to better understand it.

Reviewer: 1

Recommendation: Revise and resubmit as "new"

Comments:

.....Unfortunately, this paper needs to provide a much better argument and demonstration of the necessity and benefit of computing skeletons directly from gray-scale information.

The proposed method uses the same PDEs twice (first with small rho for boundary finding, then large rho for skeletonizing), which is puzzling even though clever. Since these two phases of the overall algorithm attempt to do different things, why should we expect the same mechanism to be effective or even necessary for both?"

Yukarıdaki 3. hakem yorumunda da belirtildiği üzere, bilişsel sinirbilimdeki yeni deneyler, aynı modülde aynı mekanizma ile hesaplanan ama anlamı değişen özelliklerin olduğunu göstermeye başlamıştır. Ancak, bir hesaplama bilimcisi olarak benim odağım, modellerimin hesaplama açısından irdelenmesidir. Güçlüklere rağmen, görüntü işlemedeki gelişmeler, tez öğrencilerimin değerli katkıları ve inançları ile kendi deneysel çalışmalarımı artırışım yeni yayınlarımda özellikle ■ ASLAN, C., Erdem, A., Erdem, E. and Tari S. (2008), ■ ERDEM, E. and Tari, S. (2009) state-of-the art sonuçlar ortaya koyabilmeye başlamıştır.

Doktora tezim kapsamında gelişmiş the edge strength function (ESF yada v işlevi) bütün yayınlarımda önemli bir rol oynamaktadır. Bu önemli aracın kökeni, meşhur Mumford-Shah modelinin Gamma yakınsaması aracılığı ile yaklaşık modellenmesine dayanır. Makalelerimde söz konusu yaklaşım Ambrosio Tortorelli approximation olarak geçmektedir.

Doktora çalışmam öncesinde ESF ya da v işlevi, gerçekten görüntülerdeki *edge*'leri, yani ani değişim noktalarını kodlamıştır. Adı bu rolünden kaynaklanmaktadır. ■ TARI, S., Shah, J. and Pien, H. (1997) ve ■ TARI, S., Shah J. and Pien, H. (1996) bu olağan rolün yüksek çözünürlükte anlamlı olduğunu, çözünürlük düştükçe v işlevinin değiştirdiğini ve şekil iskeletlerini kodlamaya başladıldığını göstermiştir. İlerleyen yıllardaki çalışmalarımı v işlevi önemli bir yer tutmaya devam etmiş ama gerek algısal gerekse matematiksel anlamı sürekli değişime ve gelişime uğramıştır. Bu değişen rolü yansıtmak amacı ile sırasıyla Tari, Shah, Pien fonksiyonu, Aslan fonksiyonu, omega fonksiyonu gibi isimlendirmeler kullandım. Örneğin, son yayınlarımda ortaya attıldığım omega işlevini Mumford Shah türü modellerle anlamak mümkün değildir (■ TARI, S. (2010), ■ TARI, S. (2009)).

Aşağıda doçentlik derecesi sonrasında yapmış olduğum özgün katkılara değineceğim.

Konveks olmayan regülarizasyon etkileri:

Konveks ve kuadratik olmayan eniyileme gerektirdiği için L2 tipi regülarizasyonlarla ele alınamayacak durumlar (Gauss olmayan gürültü, doku varlığı vb.), L1 tipi hatta kesirli L_p regülarizasyonlar gerektirir. Bu tarz modellerin modellerin lineer difüzyon denklemi ile modellenmesi önemli katkılarımdandır.

Bu konudaki özgün fikrim Ambrosio Tortorelli modelinin eniyileme koşullarını oluşturan Euler-Lagrange denklemlerinde difüzyon terimine bir çarpan eklenmesi olmuştur. Bu çarpan **c** ile gösterilmektedir. Söz konusu fikrimin ilk uygulamasında **c** konumsal tutarlılığa (spatial coherence) karşılık gelen bir ölçü olarak seçilerek YL öğrencim Aysun Sancar-Yılmaz'ın tezinde kullanılmıştır. Daha sonra, doktora öğrencim Erkut Erdem tarafından histeresis, lokal ölçek ve doku değişimine karşılık gelen üç yeni ölçü, daha geliştirilerek görüntü işlemeye ciddi başarı ile uygulanmıştır.

■ ERDEM, E., Sancar-Yılmaz A. and , Tari, S. (2007), ■ ERDEM, E. and Tari, S. (2009).

şekil kodlama ve şekil odaklı koordinat sistemi:

Geleneksel topoloji kodlayan şekil iskeletleri yerine şekil çeperlerindeki dokusal yapı ile ana yapıyı birbirinden ayıran bir kodlama yöntemi fikri, YL öğrencim Ç. Aslan ile yaptığımız önemli bir katkıdır. şekil iskeletleri, doktora tezim sırasında geliştirdiğim özgün iskelet çıkarma yöntemini Aslan işlevi olarak adlandırmaya başladığım bir işleve uygulayarak hesaplanmaktadır. Tari, Shah ve Pien iskeletleri ile karışmaması açısından izleyen yayınlarımda Bağlantısız İskelet yada Aslan İskeleti olarak adlandırılmıştır. ■ ASLAN, C., Erdem, A., Erdem, E. and Tari S. (2008), ■ ASLAN, C. and Tari, S. (2005).

Bu yayınlardaki ikinci özgün fikir, şekillerin geçirdiği değişimlerin Öklit, kısmi afin ve deformasyon olmak üzere üç ayrı koordinat sisteminde ele alınmasıdır. Özellikle Öklit dönüşümlerini ele alan birinci koordinat sistemi, kurulumu itibarı ile özgündür ve YL öğrencim Çağrı Aslan'ın fikridir. şekillerin salt ölçeği olarak adlandırdığım ölçeğin hesaplanış yöntemi yine Ç. Aslan'ın fikri katkılarını içermektedir.

ASLAN, C. and Tari, S. (2005) konferans makalesi şimdiden 12 atıf almıştır ve bunlardan 3 tanesi alanın en saygın dergisi olarak görülen IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI'de yer almaktadır.

İlgili çalışmayı devamında bir takım başarılı şekil karşılaştırma ve sınıflandırma çalışmaları izlemiştir. Bunlar, sırasıyla öğrencilerim Emre Başeski, Aykut Erdem, Erkut Erdem ve Sezen Erdem tarafından yapılmıştır. ■ BASESKI E., Erdem, A.

and Tari, S. (2009), ■ ERDEM, A. and Tari, S. (2009), ■ ERDEM S. and Tari, S. (2007), ■ ERDEM, A., Erdem, E. and Tari, S. (2006), ve ERDEM, A. and Tari, S.

Özellikle řu anda İtalya'da doktora sonrası çalışmalarını sürdüren Aykut Erdem, Aslan iskeletlerini şekil sınıflandırmada kullanmaktadır ve benzerliğe dayanan kategorileme algoritmaları geliştirmektedir. Aslan iskeletine zenginleştirici bilgi katmak Aykut Erdem'in katkısıdır. ■ ERDEM, A. and Tari, S. (2009) yayınındaki başlıca yazar Aykut Erdem olup benim katkılarım 1) ek bilginin v fonksiyonun 1D yaklaşımı aracılığı ile yapılması, 2) yarıçapı şekil çeperi ile iskelet noktası arasındaki uzaklığa eşit olan dairelerin hesaplanarak şeklin yaklaşık geri elde edilmesidir.

Parça ve bütün problemi:

şekillerin parçalarının algılanmasında hem lokal hem global özelliklerin rolü vardır. Ancak hesaplama zorluğu açısından bu faktörleri tek bir matematiksel formülde toplamak çok güçtür. Son çalışmalarımda kısmi diferansiyel denklemlerin sonlu farklar yöntemi ile yaklaşımlarından elde edilen matris-cebirselle gösterimde idempotent bir matris aracılığı ile global etkileri ekledim. Çalışma basım aşamasındadır (■TARI, S. (2009)). Gerek hakem yorumları gerekse 2 (UCLA) ve 3 (TUM) numaralı seminerlerimdeki yapılan geri beslemeler çok olumlu olmuştur. Bir diğer yayınımda modeli algısal açıdan ele aldım ve tamamen kesikli bir model olarak irdeleyerek Aslan ve Tari alışması ile bağlantısını kurdum (■TARI, S. (2010)).

Yukardaki çalışmaya ek olarak, parça ve bütün probleminde 2 adet ortak çalışmam daha mevcuttur. Bunlardan birincisi (TARI, S., Burgeth, B. and Tari, I.), IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI'ye gönderilmiş olup n sonuçlar extended abstract formatında yayınlanmıştır (■TARI, S., Burgeth, B. and Tari, I.(2009)).

İkinci ortak çalışma, doktora öğrencim Hacer Yalım Keleş ve ODTÜ Mimarlık Bölümü ğretim yesi Mine zkar ile beraber yapılmıştır. Bu alışma halen devam etmektedir. İlk sonuçlarımız ■YALIM-KELES, H., Ozkar, M., Tari, S ve ■YALIM-KELES, H., Ozkar, M. and Tari, S. (2009) da yer almaktadır. Dergi

makalemiz geçtiğimiz ay sonunda revizyon almıştır. Çalışmalardaki yeniliklerden referans Şekil kavramı ve aşırı doymuş çizge yapısı Hacer Yalım Keleş'in fikri katkısıdır.

Şekil Bilgisinin Görüntü Bölütleme İşlemlerine v fonksiyonu aracılığı ile entegrasyonu:

Görüntü bölütleme, alışılageldiği biçimde yalnızca lokal görüntü bilgilerine dayanarak yapıldığında muallak durumlar oluşmaktadır. Ne tür bir Őeklin arandığının bilinmesi, muallak durumları ortadan kaldıracaktır. Şekil n bilgisi yardımı ile görüntü bölütleme yapılmasının ardındaki yaptırım budur. Bana özgü olan katkı Őeklin n bilgisini v fonksiyonu aracılığıyla temsil ederek, Mumford-Shah mekanizmasını basit bir Şekilde kullanılır kılmak ve morfolojik bilgi ile bağlanabilmesinin nn açmak olmuştur. Bu katkı doçentlik sonrası ilk katkılarımdan biri olup, ■ ERDEM, E., Erdem, A. and Tari, S. (2005) da yer almaktadır.

Daha sonra bu fikir, öğrencim Erkut Erdem tarafından UCLA Matematik Bölümünden Dr. Luminita Vese'nin de katkıları ile lokal deformasyonları ele alacak Őekle dönüştürülmüştür (■ ERDEM E., Tari, S. and Vese, L. (2009)).

Seçilmiş yayınlarının içerikleri:

18. ■ ERDEM, E., Sancar-Yılmaz A. and , Tari, S. (2007): Mumford-Shah regularizer with spatial coherence.

Regülerizasyon ve difüzyon filtreleri arasındaki bağıntı kullanılarak, üst düzey yapısal bilgi, alt düzey filtreleme işlemine entegre edildi. Yapısal bilgi, konumsal tutarlılık ve Canny türü filtrelerdeki hysteresis aracılığı ile yapıldı. Sonuçta lineer denklem setleri aracılığı ile L1 türü regülerizasyon elde edildi.

4. ■ ERDEM, E. and Tari, S. (2009):

18 numaralı yayındaki çalışmanın gelişmiş halidir. Konumsal tutarlılık ve hysteresis'e ilaveten doku tekillikleri ve local ölçek kullanılmıştır. Ortaya çıkan model, bir geri besleme mekanizması olarak yorumlanmıştır.

16. ■ TARI, S. (2009):

Şekil temsil etmek üzere yeni bir araç geliştirilmiştir. Bu araç omega adı verilen bir fonksiyondur ve matris-cebirselsel olarak hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon aracılığı ile neler yapılabileceği basit olarak gösterilmiş ve söz konusu fonksiyon, özgün ve alışılmışın dışında, bir uzaklık transformu olarak yorumlanmıştır. Yeni fonksiyon daha önceki çalışmalarındaki fikirleri da kapsayan bir grup matematiksel morfoji fikirleri ile ilişkilendirilmiştir.

1. ■ TARI, S. (2010): Extracting parts of 2D shapes using local and global interactions simultaneously:

Bu yayın 16 numaralı yayındaki omega fonksiyonuna bambaşka bir açıdan bakmaktadır. Makalede belirtildiği üzere, önceden üstünde anlaşılmış kategorik üniteler (örneğin insan kolu) olmadan bir bütünün parçalarının ne olduğu belirsizlikler ieririr. Bu yayın 16 numaralı yayında da geçen omega fonksiyonuna hesaplama açısından alternatif bir destek getirmektedir. Tamamen kesikli gösterim kullanılarak, ve her türlü geometrik nosyondan ve ön yargıdan uzak durularak sadece pikseller arası bütün olası etkileşimleri modelleyerek, bütün şeklin kendiliğinden parçalara ayrıldığı bir mekanizma kurulmuştur.

Tutarlılık açısından, yeni modelin daha önceki kısmi diferansiyel denklemleri kullanan modellerimle bağlantısı verilmiştir. 1 ve 16 numaralı makaleler birbirlerine referans vermektedir.

14. ■ ASLAN, C. and Tari, S. (2005):

Alışılmıştan farklı bir iskelet gösterimi sunulmuş ve şekil benzerliği lme uygulamasında denenmiştir. şekil çeperini filtreleme yerine şekil içinde tanımlı bir fonksiyonu, limite götürülen bir difüzyon işlemi aracılığı ile hesaplanmaktadır. şekil iskeletleri daha once geliştirdiğim Tari, Shah ve Pien yöntemi aracılığı ile hesaplanmaktadır.

5. ■ ASLAN, C., Erdem, A., Erdem, E. and Tari S. (2008):

14 numaralı yayının genişletilmiş halidir. Çalıştayda sunulmuş 32 numaralı ■ ERDEM, A., Erdem, E. and Tari, S. (2006) makelesinden de eklemeler içerir.

3. ■ BASESKI E., Erdem, A. and Tari, S. (2009):

İki şekil arasında metric olmayan bir benzerlik ölümü yapılmıştır. Söz konusu ölüm, asimetric bir ölüm olup, önceden öğrenilmiş bilgilerin sorgulanan şekil ve bilinen şekil için ayrı roller yüklemesi prensibine dayanar. 14 ve 5 numaralı yayınlarda sunulmuş Aslan iskeleti sayesinde işlemler hesaplama açısından kolaydır.