ÖZET

DİJİTAL SİMPLEKS COMPLEKS TABANLI TOPOLOJİK ÖZELLİKLERLE GÖRÜNTÜ ANALİZİ, SINIFLANDIRMA VE KİMLİK TESPİTİ YÖNTEMİ

Buluş, en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği**;** görüntünün gri tonlamaya ve gri tonlamalı görüntünün ikili matrise dönüştürülmesi, ikilileştirilmiş görüntünün satır×sütun yapısında kullanıcı tanımlı bir grid'e bölünmesi, her bir grid bloğu için, aktif pikselleri temel alan bir dijital simpleks compleksin oluşturulması, söz konusu kompleks üzerinden dijital homolojinin hesaplanarak her blok için Betti-0, Betti-1 ve Betti-1/Betti-0 oranının elde edilmesi, tüm bloklardan elde edilen değerlerin ardışık birleştirilmesiyle sabit uzunluklu bir öznitelik vektörü oluşturulması, öznitelik vektörünün bir normalizasyon dönüştürmesiyle ölçeklenmesi ve/veya bir boyut indirgeme tekniğiyle indirgenmesi ve ölçeklenmiş ve/veya indirgenmiş öznitelik vektörünün bir sınıflandırıcı modele verilmesi ve model çıkışına dayalı olarak görüntünün bir sınıfa atanması veya bir kimliğin doğrulanması/tanıması, işlem adımlarını içermesidir.

İSTEMLER

1- Buluş, en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi **olup, özelliği;**

- — görüntünün gri tonlamaya ve gri tonlamalı görüntünün ikili matrise dönüştürülmesi,
- — ikilileştirilmiş görüntünün satır×sütun yapısında kullanıcı tanımlı bir grid'e bölünmesi,
- — her bir grid bloğu için, aktif pikselleri temel alan bir dijital simpleks compleksin oluşturulması,
- — söz konusu kompleks üzerinden dijital homolojinin hesaplanarak her blok için Betti-0, Betti-1 ve Betti-1/Betti-0 oranının elde edilmesi,
- — tüm bloklardan elde edilen değerlerin ardışık birleştirilmesiyle sabit uzunluklu bir öznitelik vektörü oluşturulması,
- — öznitelik vektörünün bir normalizasyon dönüştürmesiyle ölçeklenmesi ve/veya bir boyut indirgeme tekniğiyle indirgenmesi,
- — ölçeklenmiş ve/veya indirgenmiş öznitelik vektörünün bir sınıflandırıcı modele verilmesi ve model çıkışına dayalı olarak görüntünün bir sınıfa atanması veya bir kimliğin doğrulanması/tanıması, işlem adımlarını içermesidir.

2- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; 4×4 ila 16×32 aralığında grid boyutunun seçilmesi ile karakterize edilmesidir.

3- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; 0-simplex, 1-simplex, 2-simplex ve varsa 3-simplex elemanlarının kullanılması ile karakterize edilmesidir.

4- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; Betti-0'ın

bağlantılı bileşen sayısı, Betti-1'in delik sayısı olarak hesaplanması ve oran olarak β_1/β_0'ın kullanılması ile karakterize edilmesidir.

5- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; öznitelik vektörü boyutunun grid bloğu sayısı × 3 olması ile karakterize edilmesidir.

6- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; normalizasyonun MinMax ölçekleme ve/veya Z-score ile yapılması ve normalizasyon parametrelerinin yalnızca eğitim verisi üzerinde hesaplanıp test verisine parametre transferi yoluyla uygulanması ile karakterize edilmesidir.

7- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; boyut indirgeme için PCA ve/veya LDA ve/veya t-SNE uygulanması ile karakterize edilmesidir.

8- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; sınıflandırıcı olarak Lojistik Regresyon ve/veya SVM ve/veya KNN ve/veya CNN ve MLP kullanılması ile karakterize edilmesidir.

9- İstem 1'de bahsedilen en az bir işlemci ve bellek üzerinden yürütülen, bir giriş dijital görüntü için görüntü analizi ve/veya kimlik tespiti yöntemi olup, özelliği; çıktı olarak sınıf etiketine ek olarak güven puanı/logit/olasılık vektörünün üretilmesi ile karakterize edilmesidir.

TARİFNAME

DİJİTAL SİMPLEKS COMPLEKS TABANLI TOPOLOJİK ÖZELLİKLERLE GÖRÜNTÜ ANALİZİ, SINIFLANDIRMA VE KİMLİK TESPİTİ YÖNTEMİ

Teknolojik Alan:

Buluş, iki boyutlu dijital görüntülerden dijital homoloji ve simpleks kompleksler yoluyla topolojik öznitelikler çıkarıp sınıflandırma/kimlik tanıma yapan bilgisayar-uygulamalı görüntü işleme alanına ilişkindir.

Tekniğin Bilinen Durumu:

Mevcut görüntü analizi ve tanıma sistemleri, ağırlıkla istatistiksel/piksel temelli özelliklere (gri seviye, histogram, kenar vb.) ve/veya CNN tabanlı derin temsilcilere dayanır. Bu yaklaşımlarda topolojik bilgi örneğin; bağlantılılık, delik/boşluklar ve ayrık yapılar çoğunlukla doğrudan temsil edilmez. Piksel temelli yöntemler küçük gürültü değişimlerinden kolay etkilenerek kararlılığı düşürür. Derin öğrenme hatları yüksek hacimde etiketli veri, büyük model parametreleri ve GPU gereksinimi doğurur. Ayrıca, literatürde sürekli homoloji (persistent homology) kullanan çözümlerin zaman/mekân karmaşıklığı yüksek olduğundan pratik kullanımda sınırlayıcı olduğu ve kimi yaklaşımlarda özellik vektörlerinin sabit uzunluklu olmadığı da raporlanmıştır.

Güncel literatürde TDA/sürekli homoloji ile öznitelik çıkarımı yapan araştırma prototipleri bulunsa da, bunlar çoğunlukla sürekli (analitik) topolojiye dayanmaktadır. Dijital homoloji grupları doğrudan kullanılmaz, hesaplama yükü ve sonuçların yorumlanabilirliği açısından sınırlamalar taşır. Yaygın alternatifler arasında CNN temelli yüz/iris mimarileri (ör. VGG-Face, FaceNet) ile OpenCV tabanlı uygulamalar ve klasik el yapımı özniteliklerle (Gabor, LBP, HOG) yapılan sınıflandırmalar yer almaktadır. Ancak bu çizgide de topolojik yapının yakalanması sınırlı kalabilir ve veri/hesap ihtiyacı görece yüksektir.

Hatice Sevda D. (2017) ait veri analizinde cebirsel topolojik metotlar yüksek lisans tezinde temel olarak topolojik veri analizi (TDA) yöntemleriyle dijital görüntülerin sınıflandırılmasını ele alınmıştır. Tezde, görüntüler, piksel yoğunluklarına göre ön işleme tabi tutulur, ardından filtrasyon yöntemleriyle "persistance homology" hesaplanmıştır.

Seungho C. ve Sheela R. (2017) ait makalede topolojik veri analizi (TDA) yöntemleriyle görüntü verilerini sınıflandırmayı amaçlayan bir çalışmadan bahsedilmiştir. Çalışmada, 2 boyutlu dijital görüntüler çeşitli filtrasyon teknikleri kullanılarak simpleks komplekslere dönüştürülmekte ve bu yapılar üzerinden sürekli homoloji hesaplanmaktadır. Elde edilen topolojik bilgi barkod ve süreklilik diyagram gibi gösterimlerle ifade edilmekte, bu gösterimlerden sayısal öznitelikler çıkarılarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır.

EP3951386B1 numaralı patent başvurusunda biyolojik dokuda homoloji temelli kanser tespitine ilişkin bir yöntem açıklanmıştır. İlgili patent, mikroskopla elde edilen doku görüntüleri üzerinde kanserli hücrelerin tespiti ve türünün belirlenmesi amacıyla betti sayılarına dayalı bir görüntü analiz yöntemidir.

Sonuç olarak yukarıda bahsedilen dezavantajların üstesinden gelebilen yeni bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Buluşun Tanımı:

Buluşun temel amacı, 2B dijital görüntülerdeki topolojik yapıları (bağlantılı bileşenler ve delikler) sistematik biçimde çıkarıp bunları makine öğrenmesiyle doğrudan kullanılabilir sabit uzunluklu özniteliklere dönüştürerek sınıflandırma/kimlik tanıma doğruluğunu ve kararlılığını artırmaktır. Böylece mevcut teknikte sıklıkla görülen dört ana sorun; (i) topolojik bilginin ihmal edilmesi, (ii) gürültüye aşırı duyarlılık, (iii) derin yöntemlerin yüksek veri/GPU ihtiyacı, (iv) sürekli homolojinin pratikte ağır hesap yükü doğrudan hedef alınır ve giderilir.

Topolojik bilgi görünür kılınmaktadır. Yöntem, grid blokları üzerinde dijital simpleks compleks kurup β_0 (bağlantılı bileşen), β_1 (delik) ve β_1/β_0 oranını hesaplayarak, klasik piksel/örüntü tabanlı temsilin kaçırdığı yapısal farkları makine öğrenmesi sistemlerine entegre eder. Bu sayede sınıflandırıcılar yalnız görsel doku/kenar değil, doğrudan şekil-topolojisiyle beslenmektedir.

Hesaplama verimlidir, ağır sürekli homoloji maliyetinden kaçınılmaktadır. Dijital simpleks kompleks ve dijital homoloji akışı, sürekli topolojiye dayalı yöntemlere göre daha hızlı ve hafiftir. Böylece zaman/mekân karmaşıklığı ciddi biçimde düşer ve pratik uygulamalar mümkün olur.

Buluş, gürültüye karşı daha kararlı çalışmaktadır. Ortalama eşiklemeyle ikilileştirme ve komşuluk temelli sadeleştirme/gürültü azaltma sayesinde topolojik öznitelikler daha kararlı hesaplanmaktadır. Yöntem görsel içerikten bağımsız temsil ürettiği için sonuçların yorumlanabilirliği ve istikrarı artmaktadır.

Farklı çözünürlük ve içeriklere uyum sağlanılmıştır. Grid boyutunun kullanıcı tarafından 4×4, 8×16, 16×32 gibi değerlerle esnek seçilebilmesi, hem ayrıştırma gücünü hem de hız/hesap yükünü uygulamaya göre ayarlamaya imkân vermektedir.

Buluş konusu yöntem, geniş sınıflandırıcı ekosistemiyle doğrudan uyumludur ve sonuçlar yorumlanabilirdir. Lojistik Regresyon, SVM, KNN ve CNN+MLP gibi farklı model aileleriyle eğitilip çalıştırılabilir, topolojik özniteliklerin içerikten bağımsız olması yöntemi kararlı ve veri-verimli kılar, çıktılar da mühendislik açısından daha kolay yorumlanır.

Buluşa ait algoritmanın uygulama alanı geniştir. Aynı topolojik öznitelik yaklaşımı biyometri (iris, parmak izi), medikal görüntüleme (tümör tespiti), endüstriyel kalite kontrol, tarımsal analiz ve uydu görüntüleri gibi birçok farklı senaryoya doğal olarak uyarlanabilir. Bu da tek bir yöntemle çok alanlı fayda sağlar.

Buluşun Detaylı Açıklanması:

Burada kullanılan terminoloji, yalnızca belirli uygulamaları tanımlama amacı taşımaktadır ve buluşun kapsamını sınırlayıcı nitelikte değildir. Burada kullanılan "ve/veya" terimi, ilişkili olarak listelenmiş maddelerin bir veya daha fazlasının herhangi bir ve tüm kombinasyonlarını içermektedir. Ayrıca, burada kullanılan tekil "bir," "bir adet" ve "belirtilen" terimleri, bağlam açıkça aksini belirtmedikçe, çoğul halleri olduğu gibi tekil halleri de kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bu tarifnamede kullanılan "içerir" ve/veya "içeren" terimlerinin, belirtilen özelliklerin, adımların, işlemlerin, unsurların ve/veya bileşenlerin varlığını belirttiği, ancak bir veya daha fazla diğer özelliklerin, adımların, işlemlerin, unsurların, bileşenlerin ve/veya bunların gruplarının varlığını veya eklenmesini dışlamadığı anlaşılacaktır.

Aksi belirtilmedikçe, burada kullanılan tüm terimler (teknik ve bilimsel terimler dahil), bu buluşun ait olduğu alanda genel bilgiye sahip bir kişinin genellikle anladığı anlamla aynı anlama sahiptir. Ayrıca, yaygın olarak kullanılan sözlüklerde tanımlanan terimlerin, ilgili alanın ve bu açıklamanın bağlamıyla tutarlı bir anlama sahip olacak şekilde yorumlanması gerektiği, aksi açıkça burada tanımlanmadıkça idealize edilmiş veya aşırı resmi bir anlamda yorumlanmayacağı anlaşılacaktır.

Buluşun açıklanmasında, bir dizi teknik ve adımın açıklandığı anlaşılacaktır. Bunların her biri ayrı ayrı fayda sağlamakta olup, aynı zamanda bir veya daha fazlasıyla ya da bazı durumlarda diğer açıklanan tekniklerin tümüyle birlikte kullanılabilir. Buna göre, açıklığın sağlanması adına, buluşun açıklanması kısmında her bir adımın mümkün olan tüm kombinasyonlarını gereksiz bir şekilde tekrar etmekten kaçınılacaktır. Bununla birlikte, tarifname ve istemler, bu tür kombinasyonların tamamen buluşun ve istemlerin kapsamı içinde olduğu anlayışıyla okunmalıdır.

Buluş; iki boyutlu dijital görüntülerdeki topolojik yapıları sistematik biçimde çıkartarak sınıflandırma ve/veya kimlik tespiti yapan bilgisayar-uygulamalı bir yöntemdir. Bunun için, görüntünün kullanıcı tanımlı bir grid'e bölünmesi, her alt bölgede dijital simpleks compleks oluşturulması, bu yapı üzerinden dijital homoloji hesaplanarak Betti-0 (bağlantılı bileşen sayısı) ve Betti-1 (delik sayısı) ile $\beta 1/\beta 0$ oranının çıkarılması ve bu

değerlerin bir sınıflandırıcıya uygun sabit uzunluklu öznitelik vektörü hâline getirilmesi işlem adımları uygulanmıştır. Böylece yöntem, yorumlanabilir, veri-verimli ve çok alanlı uygulamaya elverişli bir iş akışı sunmaktadır. Burada dijital simpleks kompleks grid bloğundaki aktif (siyah) piksellerden 0-, 1-, 2- (ve varsa 3-) simplekslerin kurulduğu yapıyı ifade etmektedir. Betti sayıları ise β_0 (ayrık bağlantılı bileşen sayısı) ve β_1 (delik sayısı), ayrıca β_1/β_0 normalleştirme amaçlı bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.

Buluşa ait algoritmada öncelikle girdi görüntü gri tona dönüştürülür, ortalama değere göre ikilileştirilir. Anlamsız/bozulmuş yapıların etkisini azaltmak için komşuluk ilişkilerine dayalı sadeleştirme ve gürültü azaltma yöntemi uygulanmaktadır. Bu adım, bir sonraki topolojik çözümlemenin kararlılığını artırır. Ardından görüntü satır×sütun biçiminde bir grid yapısına bölünür. Grid sabit değildir; farklı çözünürlükler için 4×4, 8×16, 16×32 gibi boyutlar esnek biçimde seçilebilir. Her grid bloğunda aktif piksel kümeleri üzerinden 0-simplex (piksel), 1-simplex (komşu iki piksel arası kenar), 2-simplex (üç pikselden oluşan dolu üçgen) ve mevcutsa 3-simplex tanımlanır. Her bloktaki simpleks yapı için dijital homoloji grupları hesaplanır ve β_0, β_1 ile β_1/β_0 elde edilir. Tüm bloklardan gelen β_0, β_1, β_1/β_0 üçlüleri ardışık birleştirilerek sabit uzunlukta bir vektör elde edilir, örneğin 16×32 grid → 512 blok × 3 = 1536 boyut. Öznitelik vektörleri MinMaxScaler veya Z-score gibi tekniklerle uygun aralıklara ölçeklenir. Fit işlemi yalnız eğitim verisi üzerinde yapılarak test verisine sızıntı engellenir. İşlem süresini azaltmak ve anlamlı bileşenleri korumak amacıyla PCA, t-SNE veya LDA uygulanabilir. Elde edilen vektörler Lojistik Regresyon, SVM, KNN veya CNN ve MLP gibi modellerle eğitilir. Yeni görüntüler üzerinde sınıflandırma veya kimlik tanıma yapılır. Bu akışta topolojik öznitelikler görsel içerikten bağımsız, yorumlanabilir ve veri-verimli bir temsil sunar. Buluşun özgün yönü, çok sayıda grid bölgesi üzerinden dijital simpleks compleks + dijital homolojiyi sistematik yürütüp çıktıyı doğrudan sınıflandırmaya entegre etmesidir.

Yöntem, biyometrik tanıma (iris, parmak izi), medikal görüntüleme (tümör tespiti), endüstriyel kalite kontrol, tarımsal analiz ve uydu görüntülerini kapsayacak şekilde çok yönlüdür. Bu alanlarda topolojik bilgiyi içeren sabit uzunluklu vektör, verimli ve yorumlanabilir bir temel sunar.