

İTÜ
LİSANSÜSTÜ DERS KATALOG FORMU
(GRADUATE COURSE CATALOGUE FORM)

| | | | | |
|--|--------------------------------|--|--|---|
| Dersin Adı | | Course Name | | |
| Nöromorfik Hesaplama | | Neuomorphic Computing | | |
| Kodu (Code) | Yarıyılı (Semester) | Kredisi (Local Credits) | AKTS Kredisi (ECTS Credits) | Ders Seviyesi (Course Level) |
| | Güz (Fall) | 3 | 7.5 | Doktora Ph.D. |
| Lisansüstü Program (Graduate Program) | | Bilgisayar Mühendisliği Computer Engineering | | |
| Dersin Türü (Course Type) | | Seçmeli Elective | Dersin Dili İngilizce | İngilizce/Türkçe English |
| Dersin İçeriği (Course Description) | | Yapay zeka uygulamalarının gelişimi ile bilişsel fonksiyonların tüketilen güç ve kullanılan veri bakımından daha verimli doğa esinli hesaplama paradigmaları ile gerçekleşmesi önemli bir trend haline gelmiştir. Nöromorfik hesaplama, biyolojik sinirsel sistemlerin ve beyin-konektom yapısının incelenmesi, modellenmesi ve benzetim yöntemleri üzerine kuruludur. Bu ders beyin-sinir-konektom yapılarında nöromorfik öğrenme, iğnecikli sinir ağları ve yapay gerçeklemeleri, nöromorfik kodlama, stokastik hesaplama temelleri, biomimetik sinir ağları, bilişsel fonksiyonlar ve nöromorfik system uygulamalarını kapsamaktadır. <i>30-60 kelime arası</i> | | |
| | | Due to development of AI applications, performing the cognitive functions by using nature inspired computational paradigms has become a major trend for increasing the power and data efficiency. Neuomorphic computing is based on investigation, modeling and emulation of biological neural systems and the brain-connectome structure. This course covers neuomorphic learning in brain-nerve-connectome structures, spiking neural networks and their artificial implementation, neuomorphic coding, basics of stochastic computing, biomimetic neural networks, cognitive functions and neuomorphic system applications. | | |
| Dersin Amacı (Course Objectives) | | 1- Doğadaki zeki sistemlerde nöromorfik hesaplama paradigmasının anlaşılması 2- Nöromorfik sistemlerde enformasyon işlemenin anlaşılması ve başarımlar ölçütleri 3- Sinir hücre ve sistem modellerine dayalı olarak iğnecikli sinir ağlarının tasarımı 4- Hesaplama ve makine öğrenmesi için nöromorfik sistem tasarımı 5- Nöromorfik enformasyon işleme sistemlerinin gerçekleştirme yöntemleri (Memristors,BNNs etc.) | | |
| | | 1- Understanding neuomorphic computational paradigms of intelligent systems in nature 2- Understanding and performance measure of information processing in neuomorphic systems 3- Design of Spiking Neural Networks depending on neuron and neural system models 4- Design of neuomorphic systems for computation and machine learning 5- Implementation methods of neuomorphic information processing systems (Memristors,BNNs etc.) | | |
| Dersin Öğrenme Çıktıları (Course Learning Outcomes) | | Bu dersi başarıyla tamamlayan yüksek lisans/doktora öğrencileri aşağıdaki konularda bilgi, beceri ve yetkinlik kazanırlar; 1- Doğadaki nöromorfik bilişsel sistem yapıları ile beyin esinli yapay zeki sistemler arasında analogiye dayalı olarak Von Neumann mimarisindeki değişim gereksinimlerinin anlaşılması. 2- Bilişsel sistemlerde muhakeme, bağlam farkındalığı, durum farkındalığı ve zeka kavramlarının anlaşılması ve test yöntemleri 3- Nöromorfik sistemlerde yapısal gelişim ve işlenen işaret arasındaki stokastik kodlama ilişkilerinin modellenmesi 4- Nöromorfik sistemlerin inceleme ve canlandırılmasında kullanılan matematiksel işlem temellerinin öğrenilmesi 5- Nöron modelleri ve iğnecikli sinir ağlarının (SNN) anlaşılması 6- İğnecikli sinir ağlarının (SNN) hesaplama ve makine öğrenmesinde kullanım uygulaması 7- Minimum Enerji-Maksimum Entropi ilkesinin nöromorfik hesaplamada kullanımı 8- Nöromorfik hesaplamada güncel gerçekleştirme yöntemlerinin (memristörler, BNNs vb) öğrenilmesi | | |
| | | M.Sc./Ph.D. students who successfully pass this course gain knowledge, skill and competency in the following subjects; 1- Understanding the requirements for changing the Von Neumann architecture depending on analogy between the neuomorphic systems in nature and the brain inspired artificial intelligence. 2- Understanding the reasoning, context awareness, situational awareness, and intelligence in cognitive systems and their test methods. 3- Modeling of stochastic coding relationship between structural formation and the processed signals in neuomorphic systems 4-Learning the basics of mathematical operations used in investigation and emulation of neuomorphic systems. 5-Understanding the neuron models and spiking neural networks (SNN) 6-Application of spiking neural networks (SNN) for computation and machine learning. 7-Application of Minimum Energy-Maximum Entropy principle in neuomorphic computing 8-Learning the recent physical implementation methods for neuomorphic computing (memristors etc.) | | |

| | | | |
|--|---|------------------------------------|---|
| Kaynaklar (References) <u>En önemli 5 adedini belirtiniz</u> | Q. Yu, H. Tang, J. Hu, K.T. Chen, “Neuromorphic Cognitive Systems: A Learning and Memory Centered Approach”, Springer, 2017 N.K. Kasabov, “Time-Space, Spiking Neural Networks and Brain-Inspired Artificial Intelligence”, Springer, 2019 M.Shahsavari, “Unconventional Computation From Digital to Brain-like Neuromorphic: Memristive Computing”, Springer, 2017 M.Suri, “Advances in Neuromorphic Hardware Exploiting Emerging Nanoscale Devices”, Springer, 2017 W.J.Gross, V.C.Gaduet “Stochastic Computing: Techniques and Applications”, Springer, 2019 | | |
| Ödevler ve Projeler (Homework & Projects) | 1- Nöromorfik bir sistemde enformasyon kodlama 2- Nöromorfik bir sistemde makine öğrenmesi / hesaplama uygulaması 3- İğnecikli yapay sinir ağı ile hesaplama gerçekleştirilmesi 1- Information coding in a neuromorphic system 2- Machine learning / computation application in a neuromorphic system 3- Computational implementation of spiking neural networks | | |
| Laboratuvar Uygulamaları (Laboratory Work) | - - | | |
| Bilgisayar Kullanımı (Computer Use) | 1- Kodlama ile sistem gerçekleştirme ve hesaplama 2- Simülasyon 3- Başarım ölçütleri için veri ve işaret analizi 1- Coding for system implementations and computation 2- Simulation 3- Data and signal analysis for performance measures | | |
| Diğer Uygulamalar (Other Activities) | 1- Literatür araştırma 2- Dokümantasyon ve sunum 1- Literature survey 2- Documentation and presentation | | |
| Başarı Değerlendirme Sistemi (Assessment Criteria) | Faaliyetler (Activities) | Adedi* (Quantity) | Değerlendirmedeki Katkısı, % (Effects on Grading, %) |
| | Yıl İçi Sınavları (Midterm Exams) | 0 | 0% |
| | Kısa Sınavlar (Quizzes) | 0 | 0% |
| | Ödevler (Homework) | 2 | 20% |
| | Projeler (Projects) | 0 | |
| | Dönem Ödevi/Projesi (Term Paper/Project) | 1 | 30% |
| | Laboratuvar Uygulaması (Laboratory Work) | 0 | 0% |
| | Diğer Uygulamalar (Other Activities) | 0 | 0% |
| | Final Sınavı (Final Exam) | 1 | 50% |

*Yukarıda Belirtilen Sayılar Minimum Olup Yerine Getirilmesi Zorunludur.

DERS PLANI

| Hafta | Konular | Dersin Çıktıları |
|-------|---|------------------|
| 1 | Von Neumann darboğazı: Geleneksel hesaplama kuramında makine öğrenmesine karşın nöromorfik hesaplama | 1, 3 |
| 2 | Doğada nöromorfik bilişsel sistemler: Beyin konektomu ve sinir modellerine giriş | 1, 2, 7 |
| 3 | Nöromorfik sistem modelleme ve hesaplama için matematiksel yöntemler-1.kısım: Gerçek zamanlı evrişim, Kullback-Liebler Entropisi ve stokastik modellemeye giriş | 3, 4 |
| 4 | Nöromorfik sistem modelleme ve hesaplama için matematiksel yöntemler-2.kısım: Dalgacık Dönüşümü (DWT) ve uygulama örnekleri | 3, 4 |
| 5 | Nöromorfik sistem modelleme ve hesaplama için matematiksel yöntemler-3.kısım: Süzme, gürültü modelleri, frekans uzayında analiz ve Hilbert Dönüşümü | 3, 4 |
| 6 | Evrişim ve entropiye dayalı enformasyon kodlama ve kortikal ağ yapılandırması | 2, 3, 7 |
| 7 | Nöromorfik sistemlerde bağlam farkındalığı, durum farkındalığı ve muhakeme | 2, 3 |
| 8 | Nöromorfik sistemlerde motor korteks ile fiziksel çevre etkileşimi ve yapay motor korteks örnekleri | 3, 8 |
| 9 | Sinir hücresi modelleri ve beyin sisteminde iğnecikli sinir ağları (SNN) | 5 |
| 10 | İğnecikli sinir ağlarında (SNN) makine öğrenmesi ve hesaplama | 5, 6 |
| 11 | İğnecikli sinir ağlarının makine öğrenmesi için gerçekleştirme örnekleri | 6 |
| 12 | Nöromorfik sistemlerde güncel fiziksel gerçekleştirme yöntemleri (memristörler, biyomimetik ağlar vb.) ve yapay zeka uygulamaları | 8 |
| 13 | Dönem proje sunum ve değerlendirmeleri 1.grup nöromorfik sistemlerde hesaplama / makine öğrenmesi | 2, 3, 6 |
| 14 | Dönem proje sunum ve değerlendirmeleri 2.grup nöromorfik sistem gerçeklemeleri / analiz | 2, 4, 8 |

COURSE PLAN

| Weeks | Topics | Course Outcomes |
|-------|--|-----------------|
| 1 | Von Neumann bottleneck: Machine learning with conventional computation vs neuromorphic computation | 1, 3 |
| 2 | Cognitive Neuromorphic systems in nature: "An introduction to Brain Connectome and Neural Systems" | 1, 2, 7 |
| 3 | Mathematical methods for modeling and computation in neuromorphic systems-part 1: Real time convolution, Kullback-Liebler Entropy and an introduction to stochastic modeling | 3, 4 |
| 4 | Mathematical methods for modeling and computation in neuromorphic systems-part 2: Dalgacık Dönüşümü (DWT) ve uygulama örnekleri | 3, 4 |
| 5 | Mathematical methods for modeling and computation in neuromorphic systems-part 3: Filtering, noise models, frequency space analysis and Hilbert transformation | 3, 4 |
| 6 | Information coding and cortical network development based on the convolution and entropy | 2, 3, 7 |
| 7 | Context awareness, situational awareness and reasoning in neuromorphic systems | 2, 3 |
| 8 | Peripheral physical interactions through motor cortex in neuromorphic systems and artificial motor cortex examples | 3, 8 |
| 9 | Neuron models and spiking neural networks (SNN) in brain | 5 |
| 10 | Computation and machine learning with artificial spiking neural networks (SNN) | 5, 6 |
| 11 | Implementation examples of spiking neural networks (SNN) for machine learning | 6 |
| 12 | Recent physical implementation methods of neuromorphic computational systems (Memristors, biomimetic networks etc.) and their applications for artificial intelligence | 8 |
| 13 | 1st group term project presentations and discussion: Computation and machine learning in neuromorphic systems | 2, 3, 6 |
| 14 | 2nd group term project presentations and discussion: Neuromorphic system implementation and analysis | 2, 4, 8 |

NOT-1: Ders planı, sadece hafta bazında işlenen ders konularını içermeli, ara ve kısa sınavlar ders planlarına yazılmamalıdır.

Dersin Bilgisayar Mühendisliği Programıyla İlişkisi

| | Programın mezuna kazandıracığı bilgi, beceri ve yetkinlikler (programa ait çıktılar) | Katkı Seviyesi | | |
|------|--|----------------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| i. | Lisans düzeyi yeterliliklerine dayalı olarak, Bilgisayar Mühendisliği alanındaki bilgilerini uzmanlık düzeyinde geliştirebilme ve derinleştirebilme. | | | × |
| ii. | Bilgisayar Mühendisliği alanının ilişkili olduğu disiplinler arası etkileşimi kavrayabilme. | | | × |
| iii. | Bilgisayar Mühendisliği alanı ile ilgili karşılaşılan sorunları araştırma yöntemlerini kullanarak çözümlenebilir. | | | × |
| iv. | Bilgisayar Mühendisliği alanının gerektirdiği düzeyde bilgisayar yazılımı ile birlikte bilişim ve iletişim teknolojilerini ileri düzeyde kullanabilme. | | × | |
| v. | Kendi çalışmalarını, Bilgisayar Mühendisliği alanındaki uluslararası platformlarda, yazılı, sözlü ve/veya görsel olarak aktarabilme. | | × | |

1: Az, 2. Kısmi, 3. Tam

Relationship between the Course and the Computer Engineering Program

| | Program Outcomes | Level of Contribution | | |
|------|--|-----------------------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| i. | Developing and intensifying knowledge in Computer Engineering area, based upon the competency in the undergraduate level. | | | × |
| ii. | Grasping the inter-disciplinary interaction related to Computer Engineering area. | | | × |
| iii. | Solving the problems faced in Computer Engineering area by making use of the research methods. | | | × |
| iv. | Using the computer software together with the information and communication technologies efficiently and according to the needs of Computer Engineering area. | | × | |
| v. | In the programs with thesis, the ability to present one's own work within the international Computer Engineering environments orally, visually and in written forms. | | × | |

1: Little, 2. Partial, 3. Full

NOT-2: Ders ile ilgisi olmayan çıktıların boş bırakılması gerekmektedir.

| | | |
|--|---|--------------------------------|
| <i>Düzenleyen (Prepared by)</i> Prof.Dr. B.Berk Ustundag | <i>Tarih (Date)</i> 20/8/2020 | <i>İmza (Signature)</i> |
|--|---|--------------------------------|

DERS

| Dersin Kodu | Dersin Adı | | | Neuromorphic Computing | Dersin Dili | | | | İngilizce | Dersin Kredisi | 3* | Dersin ECTS Kredisi | | | | | | 7.5* |
|---|------------|---------|------|------------------------|-------------|---------|------|------|-----------|----------------|----|---------------------|---------|---------|----|----|----|-------------|
| *Tüm lisansüstü programlarında verilen dersler için sabittir | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hafta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | TOPLAM Saat |
| Kazanılan Beceri (Çıktılar) | 1, 3 | 1, 2, 7 | 3, 4 | 3, 4 | 3, 4 | 2, 3, 7 | 2, 3 | 3, 8 | 5 | 5, 6 | 6 | 8 | 2, 3, 6 | 2, 4, 8 | - | - | - | 42 |
| Haftalık Ders (Saat) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | 42 |
| Laboratuvar (Saat) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| Uygulama (Saat) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | 0 |
| Dersle ilgili Sınıf dışı Etkinlikler (Saat) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| Sınavlar ve Sınava Hazırlık (Saat) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| Toplam Saat | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | 42 |
| Ders Değerlendirme Sistemi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

YÜKÜ HESAPLAMA FORMU

| | |
|------------------|-----------------------------|
| Tarih | 20/08/2020 |
| Formu Hazırlayan | Prof.Dr.Burak Berk Üstündağ |
| Formu Onaylayan | |