



Network Master: Nöral Ağların Simülasyonu için Çok Yönlü ve Kullanıcı Dostu Bir Eğitim Yazılımı

Network Master: A Versatile and User-Friendly Educational Software for Simulation of Neural Networks

Ömer Yıldırım¹, Zübeyir Özcan², Hilal Turhan², Temel Kayıkcıoğlu²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

omeryildirim@gumushane.edu.tr, zubeyirozcan@ktu.edu.tr, hilal_turhan@hotmail.com, tkayikci@ktu.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada, NEURON hoc programlama ile biyolojik sinir hücrelerinden oluşan sinir ağlarının matematiksel olarak modellenerek simülasyonlarının gerçekleştirilebildiği bir arayüz tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan bu arayüz ile matematiksel modelleri oluşturulan sinir ağlarına istenilen uyarımlar yapılabilen ve oluşan aksiyon potansiyelleri ve sinir ağının davranışları detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Çalışmanın en önemli özelliği ise tasarlanan arayüzün tamamen kullanıcı dostu olarak geliştirilmiş olmasıdır. Geliştirilen arayüz sayesinde, kullanıcıların kod yazmadan sinir ağ modellerine ait simülasyonlarını kolay bir şekilde gerçekleştirebilmeleri de bu yazılımın bir diğer avantajıdır.

Anahtar Kelimeler — NEURON yazılımı, sinir hücresi, sinir ağları, modelleme, simülasyon.

Abstract—In this study, an interface in which neural networks consisting of biological cells could be modeled and simulated using Neuron hoc programming. With this interface, the resulting action potentials and the behavior of the nerve network can be investigated in detail by making the desired stimuli to mathematical models of neural networks. The most important feature of the work is that the designed interface is completely user friendly. Another advantage of this software is that users can easily perform simulations of the neural network models without writing code.

Keywords —NEURON software, nerve cell, neural networks, modelling, simulation.

I. GİRİŞ

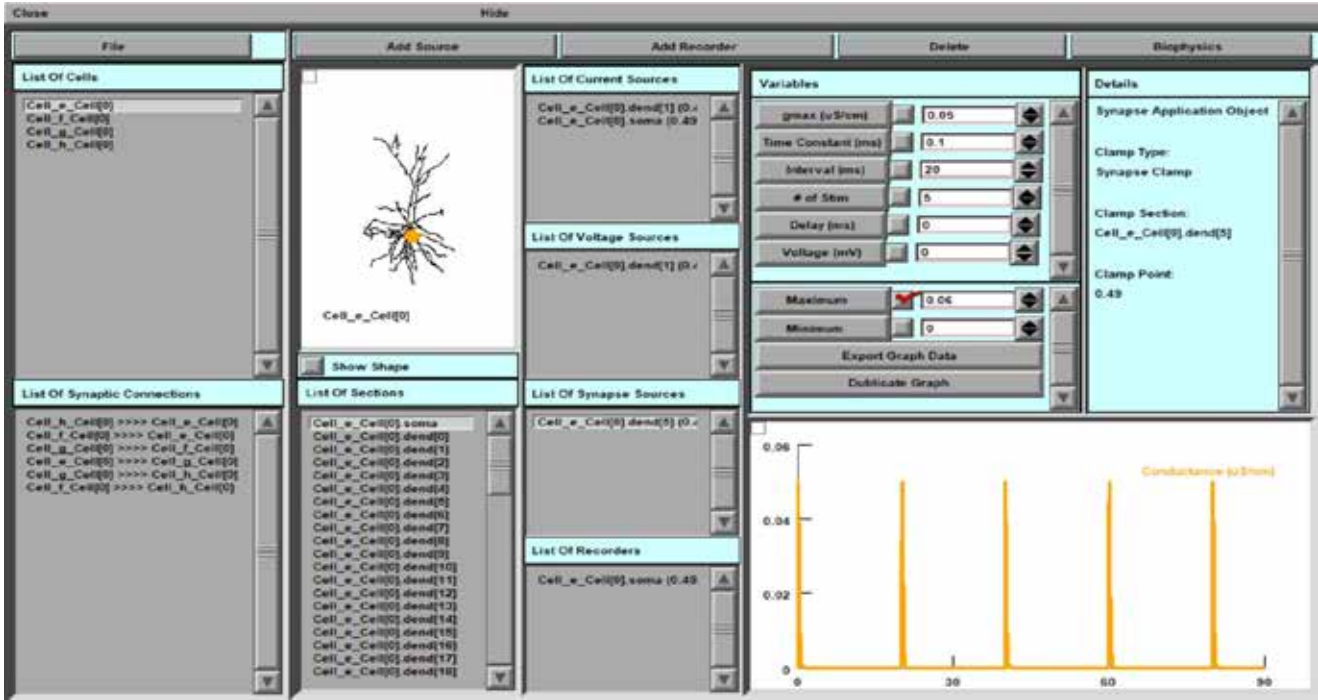
Hesaplamalı sinirbilimi, sinir hücrelerinin ve bu hücrelerden oluşan sinir ağlarının matematiksel olarak modellendiği ve bu modeller üzerinden simülasyon çalışmalarının gerçekleştirildiği bir alandır [1]. Yapılan simülasyon çalışmaları bu alan için büyük önem taşımaktadır [2]. Matematiksel modelleri oluşturulan sinir hücrelerinin ve bu hücrelerden oluşan sinir ağlarının simülasyonları bilgisayar ortamında hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [3].

Günümüzde bu simülasyon işlemlerini gerçekleştirmek için birçok yazılım geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde bu

programlar içerisinde en çok kullanılanları NEURON, MATLAB ve Python olduğu görülmüştür [4]. Bu programlar içerisinde en çok kullanılanı Yale Üniversitesi tarafından geliştirilen ve açık kaynak kodlu olan NEURON yazılımıdır [5]. Açık kaynak kodlu olmasının verdiği esneklik sayesinde kullanıcılarına bu alanda büyük bir kolaylık ve farklı uygulamaları kolay bir şekilde gerçekleştirebilme imkânı sunmaktadır. Bu sayede kullanıcılar istedikleri hücre modelleri üzerinde esnek bir çalışma yürütebilmektedirler.

Sinir hücrelerine ait birçok matematiksel modeller geliştirilmiş olup bunlardan en önemlisi Hodgkin-Huxley modelidir [6]. Bu model sinir hücresinin elektriksel davranışları temel alınarak A. L. Hodgkin ve A. F. Huxley tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde birçok simülasyon çalışmasında bu sinir hücresi modeli kullanılmaktadır [7]. Bu modelde, sinir hücresine ait zar, elektronik devre elemanları ile modellenmekte ve devre analizi yöntemleri ile simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. NEURON yazılımında ve geliştirilen arayüzde ise bu model hazır olarak gelmektedir. Sinir hücrelerine ait simülasyonlar bu matematiksel modellere dayandırılarak yapılabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada bir arayüz tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen arayüz sayesinde kullanıcılar sinir hücreleri arasında sinaptik bağlantılar kurarak ağ modellerini kolay bir şekilde oluşturabilmektedir. Oluşturulan sinir ağ modellerinin simülasyonları bu sayede her seviyedeki kullanıcı tarafından kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Simülasyon işlemleri sırasında sinir hücrelerine gerilim kenetleme, akım kenetleme ve sinaptik bağlantı olmak üzere 3 farklı uyarı çeşidi uygulanabilmektedir. NEURON programının kendisine ait GUI (arayüz) kütüphanelerinde bulunan belirli uyarımların uygulanmasına izin vermektedir. Bu arayüzde ise herhangi bir platformda (MATLAB, C, C++) kullanıcılar tarafından oluşturulan uyarım verileri ağ modeli üzerine istenen noktaya kolay bir şekilde uygulanabilmektedir. Ayrıca Network Master üzerinde yapılan simülasyon işlemlerinin tüm çıktılarının bir dosya halinde dışa aktarılabilmesi, NEURON GUI'den farklı olan bir diğer özelliğidir.



Şekil 1. Geliştirilen NEURON simülasyon arayüzü

II. MATERYAL VE YÖNTEM

NEURON, Yale Üniversitesi tarafından geliştirilen, hesaplamalı sinirbilimi alanında çalışan araştırmacıların sıklıkla kullandığı bir yazılımdır. Açık kaynak kodlu olmasından dolayı kullanıcılara her türlü esnekliği sağlayabilen bir çalışma platformudur. Açık kaynak kodlu olması ve GUI geliştirmeye imkân tanımamasından dolayı da kullanıcılar gerçekleştirdikleri simülasyon çalışmalarını çalışmaya özel arayüzler ile zenginleştirebilmekteledir. NEURON yazılımının bu avantajları göz önünde bulundurulduğunda yapılan bu çalışma için uygun bir platform niteliği taşımıştır.

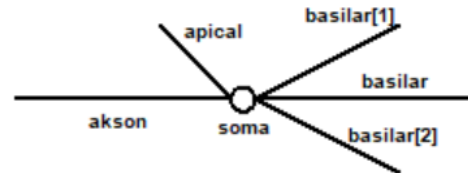
NEURON programı üzerinde geliştirilen ve birden fazla nöron modelinin yüklenebildiği ve bu modeller arasında sinaptik bağların kurulup simülasyonlarının yapılabildiği arayüzün genel görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Burada 4 adet sinir hücresinden oluşan basit bir sinir ağ modeli oluşturulmuştur. Ağda bulunan sinir hücrelerine ait liste Şekil 1’de gösterilen “List Of Cells” başlığı altında listelenmiştir. “List Of Synaptic Connections” başlığı altında ise bu sinir ağında bulunan sinir hücrelerinin birbirleri ile yaptıkları sinaptik bağlantıların listesi verilmiştir.

Geliştirilen arayüz yardımı ile basit ve karmaşık sinir ağ modellerinin simülasyonları kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Simülasyonu yapılacak basit bir sinir ağının oluşturulması için bazı adımların gerçekleştirilmiş olması gerekmektedir. İlk olarak sinir ağ modelinde kullanılacak olan sinir hücre modellerinin NEURON programına yüklenmesi gerekmektedir. Bu işlemler bittikten sonra bu sinir hücreleri arasında bulunan sinaptik bağlantıların kurulması gerekmektedir. Sinaptik bağlantıların yapılması ile

sinir ağ modeli oluşturulmuş olur. Bu aşamanın akabinde sinir ağının simülasyon işlemlerine geçilebilmektedir.

A. Sinir Hücre Modellerinin Yüklenmesi

Sinir ağ modelinde kullanılacak olan sinir hücre modellerinin yüklenmesi iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir. Bunlardan ilki kullanıcının kendi istediği morfoloji ve biyofiziğe sahip sinir hücresini tasarlamasına dayanmaktadır. Burada kullanıcı sinir ağ modelinde kullanacağı sinir hücre modelinin akson, soma, dendrit sayısını ve bunların yerleşimini istediği şekilde ayarlayabilmektedir. Bu yönetime örnek olarak Şekil 2’deki sinir hücre modeli verilebilir. Burada kullanıcı sinir ağ modelinde kullanacağı sinir hücresinin morfolojisini ve biyofiziğini kendisi belirlemektedir.



Şekil 2. Kullanıcı tarafında oluşturulan basit bir sinir hücresi modeli

Sinir hücre modelinin oluşturulmasında kullanılacak ikinci yöntem ise sinir hücresinin SWC formatında yüklenmesidir. Hesaplamalı sinirbilimi alanında çalışan araştırmacılar gerçek sinir hücrelerinin 3 boyutlu rekonstrüksiyonunu tamamladıktan sonra elde edilen morfolojik bilgiyi SWC formatında dosyalarda saklamaktadırlar. SWC formatındaki dosyalardan yüklenen sinir hücre modelleri morfolojik olarak tamamen gerçek

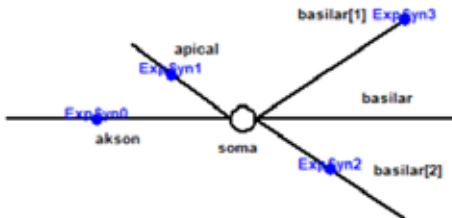
hücreleri yansıtmaktadır. Bu yöntem ile yüklenen bir sinir hücre modeli Şekil 3'te verilmiştir. Bu şekilde taranarak SWC formatında kaydedilen sinir hücresine ait morfoloji dosyasında, sinir hücresinin birimlerinin 3 boyutlu x, y, z koordinat bilgisi ve bu birimlerin yarıçap bilgileri yer almaktadır. Kullanıcı SWC formatındaki dosyayı yükledikten sonra biyofiziksel özelliklerini belirlemek durumundadır. Biyofizik değerleri ise deneysel çalışmalara uygun olacak şekilde optimize edilmelidir. Böylece gerçek bir sinir hücresi matematiksel olarak modellenmiş olur.



Şekil 3. SWC formatında yüklenen sinir hücre modeli

B. Sinaptik Bağlantıların Kurulması

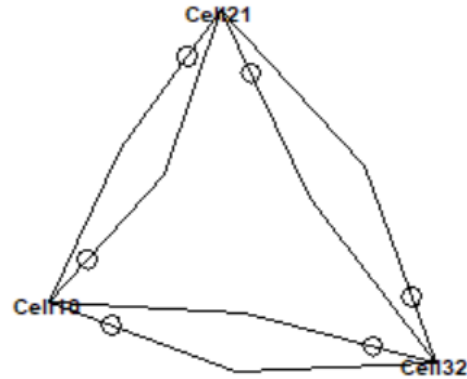
Sinir ağ modelinde sinaptik bağlantıları oluşturmadan önce ağ modelinde kullanılacak olan sinir hücre modellerinin yüklenmesi gerekmektedir. Sinir hücre modellerinin yüklenmesi yapıldıktan sonra hangi tip sinapsların kullanılacağı belirlenmelidir. Sonrasında ise bu sinaps tiplerinin sinir hücreleri üzerine hangi konumda bulunacağı belirlenmeli ve eklenmelidir. Bunun için NEURON programında en çok kullanılan sinaps türü eksponansiyel sinaps türüdür. Bu sinaps türünde gerekli eşik gerilimi sağlandığında eksponansiyel bir aksiyon potansiyeli oluşmaktadır. Eksponansiyel sinapsların kullanıcı tarafından tasarlanan sinir hücre modelinde konumlandırılmış bir örneği Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te verilen ve mavi renkte gösterilen yerler sinaptik bağlantı konumlarını göstermektedir. Bu konumlara farklı bir sinir hücresinin soması veya aksonu bağlantı yapabilmektedir.



Şekil 4. Sinir hücre modeline eksponansiyel sinaps konumlarının yerleştirilmesi

Sinir ağ modelinde kullanılacak sinir hücresi modelleri yüklendikten ve bu hücre modelleri üzerinde sinaptik bağlantıların yapılacağı yerler belirlendikten sonra geriye kalan bağlantıların oluşturulmasıdır. Bunun için de oluşturulan basit bir sinir ağ modeli Şekil 5'te verilmiştir. Burada 3 farklı sinir

hücre modeli kullanılmıştır. Bu sinir hücre modelleri ise karşılıklı olarak birbirlerine sinaptik bağlantılar ile bağlanmıştır. Böylece basit bir sinir ağ modeli oluşturulmuştur. Şekil 5'te sinir hücre modelleri arasındaki bağlantı çizgilerinde yuvarlak bir işaret bulunmaktadır. Bu yuvarlak işaretin yakın olduğu sinir hücre modeli hedef, uzak olduğu ise kaynak olduğunu göstermektedir. Sinaptik uyarımlar her zaman kaynaktan hedefe doğru gerçekleşmektedir. Şekil 5'te Cell-i-j olarak etiketlenen sinir hücre modellerinde ise i sinir hücre modelinin etiketini, j ise toplam hücre sayısını temsil etmektedir.

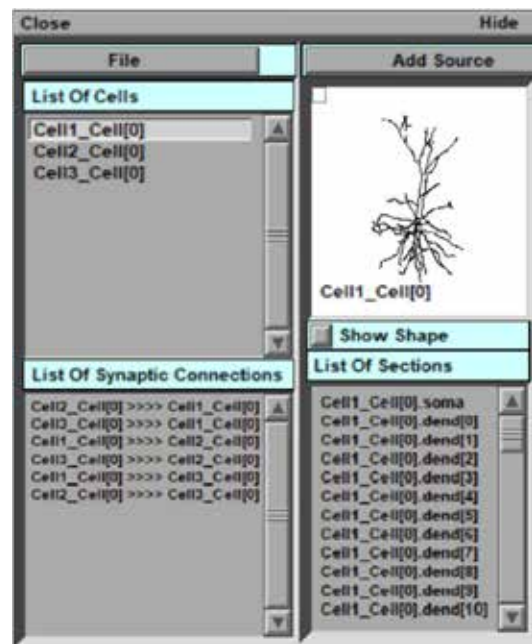


Şekil 5. Basit bir sinir ağ modeli

Bu işlemlerden sonra sinir ağ modeli simülasyon çalışmaları için hazır hale gelmektedir.

C. Sinir Ağ Modelinin Simülasyonu

Şekil 5'te tasarlanan sinir ağ modeli geliştirilen yazılıma yüklendiğinde Şekil 6'da bir kısmı gösterilen arayüz ile karşılaşılmaktadır. Şekil 6 incelendiğinde sinir ağ modelinde 3 farklı sinir hücre modeli ve toplamda 6 adet sinaptik bağlantının olduğu görülmektedir.

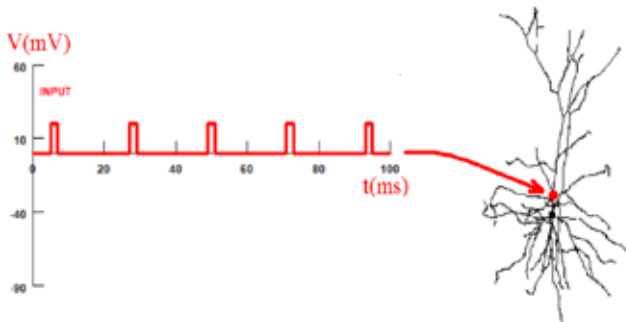


Şekil 6. Sinir ağ modelinin geliştirilen programa yüklenmesi

Network Master yazılımı kullanıcıya ağ içinde bulunan sinaptik bağlantılara ait “Gecikme” ve “Ağırlık” parametrelerini yönetebilme imkanını da vermektedir. Sinaptik bağlantının listeden seçilmesi ile sinaptik bağlantıya ait arayüz açılabilir. Tüm değişken yönetimi bu arayüz üzerinden gerçekleştirilebilir. Gerekli parametre ayarları yapıldıktan sonra sinir ağ modeli simülasyon için hazır hale gelmektedir.

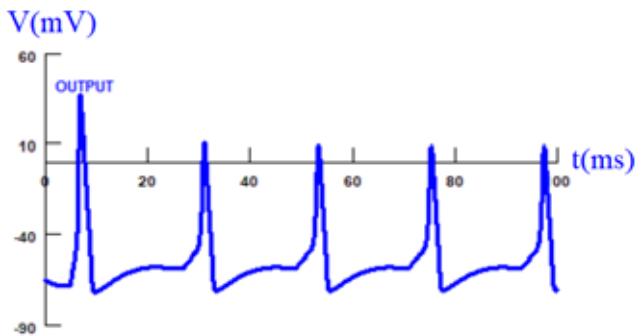
Simülasyon işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için sinir ağ modelinde bulunan sinir hücre modellerine akım, gerilim veya sinaptik uyarıların yapılması ve bu uyarımlar sonucunda sinir ağ modelinde meydana gelen gerilim değişikliklerinin incelenebilmesi için kayıt noktalarının yine sinir hücre modelleri üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemleri hepsi Network Master yardımı ile kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca Network Master NEURON dahilinde varsayılan olarak bulunmayan ancak MOD dosyası yazılması ile elde edilebilecek sinüzoidal, periyodik kare dalga, rastlantısal gibi farklı uyarımlar da model üzerinde kullanılabilir.

Şekil 6’da verilen örnek sinir ağ modelinde *Cell1* olarak etiketlenen sinir hücre modelinin Şekil 7’de sağ tarafta kırmızı ile gösterilen noktasına yine Şekil 7’de sol tarafta gösterilen gerilim uyarımı, geliştirilen arayüz üzerinden yapılmıştır. Yapılan bu simülasyon çalışmasında sinir ağ modelinde sadece *Cell1* sinir hücre modeli uyarılmıştır ve diğer sinir hücre modellerinin somalarında gerilim kaydı yapılmıştır.

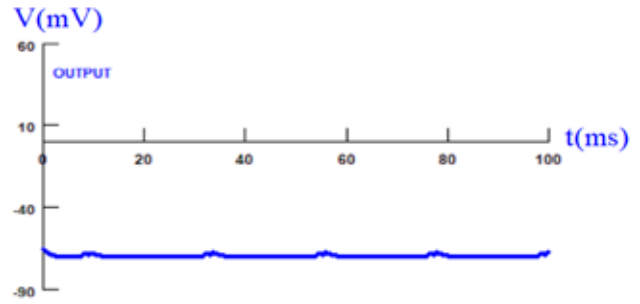


Şekil 7. *Cell1* sinir hücre modeline ait uyarım noktası ve grafiği

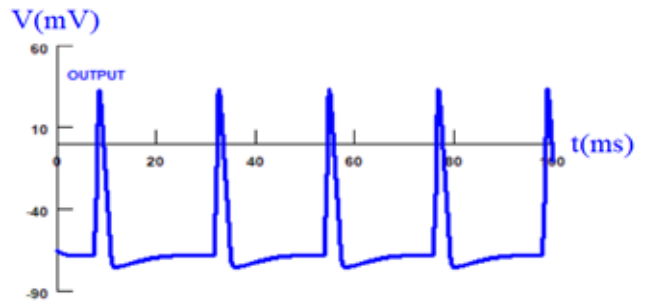
Uyarım yerleri ve kayıt yerleri, geliştirilen arayüz üzerinden belirlendikten sonra simülasyon işlemi başlatılmıştır. Simülasyon işlemi sonucunda sinir hücre modellerinin somalarından kaydedilen gerilimler Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 8. *Cell1* sinir hücre modelinin somasından yapılan gerilim kaydı



Şekil 9. *Cell2* sinir hücre modelinin somasından yapılan gerilim kaydı



Şekil 10. *Cell3* sinir hücre modelinin somasından yapılan gerilim kaydı

Görüldüğü üzere sinir ağ modelinde sadece *Cell1* modelinin uyarılmasına rağmen diğer sinir hücre modellerinde de uyarımlara hatta aksiyon potansiyeline rastlanmıştır.

III. SONUÇLAR

Simülasyon sonuçlarından da görüldüğü üzere kullanıcı dostu olarak geliştirilen Network Master ile oluşturulan sinir ağ modellerinin simülasyonları görsel olarak da desteklenerek kolay bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı sinirbilimi alanında çalışan veya çalışacak olan araştırmacıların tüm ihtiyaçları düşünülerek oluşturulan bu arayüz sayesinde tüm çalışmalar görsel olarak ve hiçbir kod yazma gereksinimi olmadan yürütülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Troyer, “An Introduction to Computational Neuroscience”, Draft Manuscript, printed March 16, 2007.
- [2] D. Sterratt, B. Graham, A. Gillies, and D. Willshaw, *Principles of computational modelling in neuroscience*. Cambridge University Press, 2011.
- [3] W. W. Lytton, “From Computer to Brain-Foundations of Computational Neuroscience”, 2002, ISBN 978-0-387-22733-7.
- [4] “ModelDB.” [Online]. Available: <https://senselab.med.yale.edu/modeldb/>. [Accessed: 06-Oct-2018].
- [5] Nicholas T. Carnevale, Michael L. Hines, “The NEURON Book”, Cambridge University Press, 2006.
- [6] Pospischil, Martin, et al. "Comparison of different neuron models to conductance-based post-stimulus time histograms obtained in cortical pyramidal cells using dynamic-clamp in vitro." *Biological cybernetics* 105.2 (2011): 167.
- [7] A. L. Hodgkin and A. F. Huxley. A quantitative description of membrane currents and its application to conduction and excitation in nerve. *Journal of Physiology*, 117:500-544, 1952.