

Marc'ta Node to Segment ve Segment to Segment Contact Algoritmaları

HAZIRLAYAN
Doğukan Alkan CAE Uygulama Mühendisi

Tarih: 18 / 05 / 2023

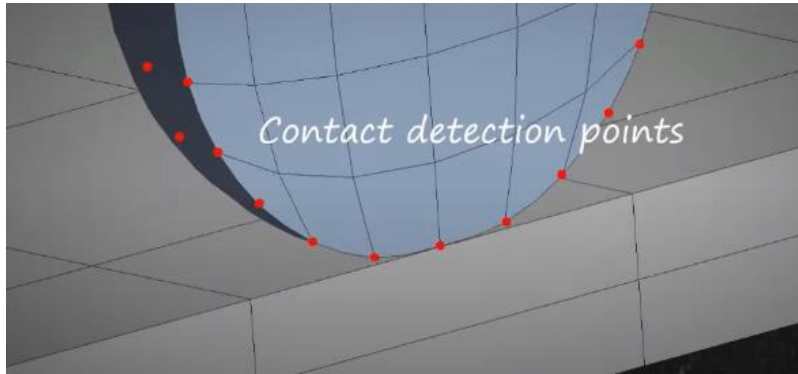
Sonlu elemanlar dünyasında Analiz sırasında potansiyel kontak adayı olan gövdelerin (deforme olabilen veya rijit) tanımını tamamladıktan sonra, bir algoritma deforme olabilen gövdelerin sınırlarını hangi node' ların ve segment' lerin tanımlandığını belirlemektedir.

Bu teknik yazı Marc' ta uygun kısıtlamaları oluşturmak ve herhangi bir sızma olmamasını sağlamak için teması giren node' ları tespit etmek için Kontak algoritmalarının nasıl kullanıldığını anlatmaktadır.

1. Giriş

Yapısal analizlerdeki kontak tanımlamaları, farklı yapı elemanlarının birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. Bu tanımlamalar, farklı yüzeylerin birbirine temas ettiği noktalarda veya arayüzlerinde kullanılan kontak özelliklerine dayanmaktadır.

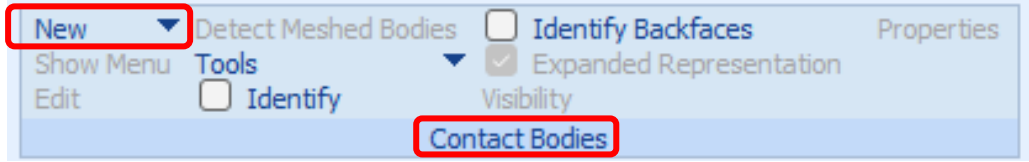
Örneğin; bir yapı elemanının üzerindeki kuvvetin diğer bir elemana aktarılması gerektiğinde, bu elemanların arasında bir kontak tanımlaması yapılır. Bu kontak, elemanlar arasındaki sürtünme, yapışma veya sıkışma gibi faktörleri hesaba katarak modellenir.



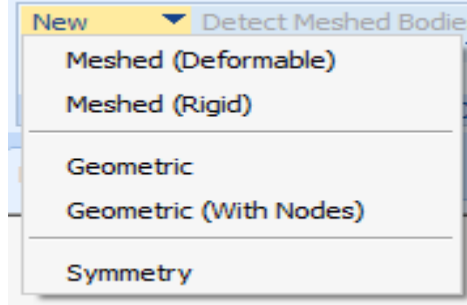
Figür 1 — İki farklı kontak Body'nin temasa başlaması

2. Marc' ta bulunan Contact Body Çeşitleri

Marc, bir simülasyon içindeki potansiyel teması belirlemek için çeşitli Contact Body' lere sahiptir. Marc' ta Contact Body eklemek için; doğru sekme geldiikten sonra, New kısmından çeşidine göre ekleme yapılabilmektedir.



Figür 2 — Marc' ta Contact Body Ekleme (New>Contact Bodies)



Figür 3 — Marc içerisindeki Contact Body Çeşitleri

- *Meshed*: Sonlu elemanlar analizinin gerçekleştirileceği bölgeleri modellemek için kullanılır. Elemanlar aracılığıyla modellenir.
- *Geometric*: Sonlu elemanlar analizinin yapılması gerekmeyen bölgelerin sınırlarını modellemek için kullanılır. 3D yüzeyler veya 2D eğriler ile modellenebilir.
- *Symmetry*: Simetrik olan sınır koşullarını uygulamak için kullanılır.

Marc' ta Contact Body' lerin konumları sürekli olarak izlenmektedir. Contact Body' ler arasındaki kuvvetleri otomatik olarak hesaplamaktadır.

Geometrik ve Malzeme Non-linearitesi birlikte çalışarak, hesaplama yapar. Statik, dinamik, akışkan, elektriksel ve termal alanlarda uygulanmaktadır.

3. Marc' ta bulunan Contact Algoritmaları

- Node to Segment Contact
- Segment to Segment Contact

3.1. Node to Segment Kavramı

Node to Segment Contact, bir nesne veya parçacığın, bir segmentin (parça, çizgi, yüzey vb.) kenarlarıyla temas etme durumunu ifade eden bir yapısal analiz terimidir. Bu terim, özellikle fizik tabanlı simülasyonlarda kullanılan bir tekniktir.

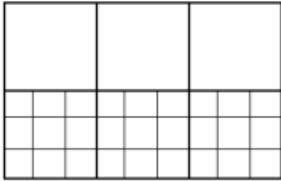
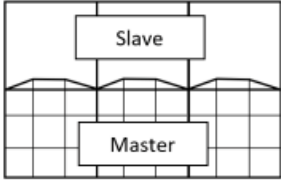
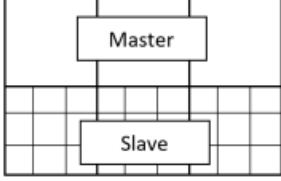
Node to Segment bir nesnenin konumu ve hızı hesaplandığında, bir segmentle temas halinde olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Bu durumda, nesnenin konumu, segmentin kenarlarına yakın bir noktada ve hızı da segmentin yönüne doğru olmaktadır. Bu durumda, nesne segmentin kenarına çarpabilmekte veya üzerinde kayabilmektedir.

Node to Segment, ayrık zamanlı veya sürekli zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Ayrık zamanlı durumda, zaman adımları arasında nesne ve segmentin konumları ve hızları hesaplanır ve bu hesaplamalar sonucunda temas durumu belirlenir. Sürekli zamanlı durumda ise, nesne ve segmentin konum ve hızları sürekli olarak takip edilir ve temas durumu anlık olarak belirlenir.

3.1.1. Node to Segment Prosedürü

Node to Segment Algoritması, varsayılan olarak gelen kontak algoritmasıdır. Çalışma ilerleyişi olarak aşağıdaki şekilde sıralanır.

- Algoritma, bağlantıya giren nodeları otomatik olarak algılar ve penetrasyon olmamasını sağlamak için çok noktalı kısıtlamalar oluşturur.
- Aynı zamanda temas eden yüzeylerdeki yer değiştirmeleri hesaplar.
- Kullanıcı, hangi parçaların potansiyel kontak adayı olduğunu tanımlar.
- Self Contact durumunda da izin verilir.

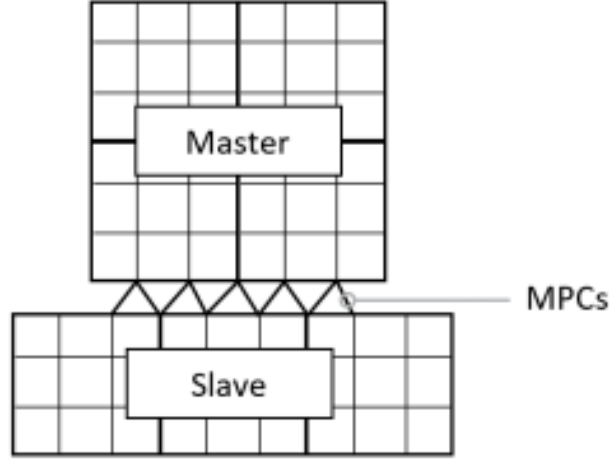
		Rule
Initial Mesh		
Incorrect setting of master-slave ✘		A node of the master body CAN penetrate a segment of the slave body.
Correct setting of master-slave ✔		A node of the slave body CANNOT penetrate a segment of the master body.

Figür 4 — Master-Slave Etkisinin Tanımlanması

Node to Segment çalışma şeması, bir gövdenin Master, diğerinin de Slave olarak tanımlandığı bir Master-Slave temelinde çalışır. Temas için temel kural, Slave gövdenin node' larının Master gövdenin eleman yüzlerine nüfuz edememesidir. Node to Segment şemada ortaya çıkabilecek yaygın bir sorun, iki gövde arasındaki mesh boyutundaki büyük fark için, yanlış bir Master-Slave konfigürasyonu tanımlanırsa, Master gövdeden gelen node' ların Slave gövdeye girmesi ve yanlış temas sonuçlarına neden olmaktadır.

Bu nedenle, Slave gövde olarak daha küçük ağ boyutuna sahip gövdeyi seçmek çok önemlidir. Bunun bir sorun olmaya devam ettiği durumlarda, çift taraflı bir temas seçme seçeneği vardır; bu, sorunu önlemek için her iki gövdenin de kontak açısından kontrol edileceği anlamına gelir. Ancak bu, kontak durumunun hesaplanan artış başına iki kez kontrol edilmesiyle sonuçlanacak ve analiz süresini orantılı olarak artırmaktadır. Node to Segment analizi, mesh içerisindeki node' ları gruplara ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, node' ların benzer özelliklerini veya işlevlerini vurgulayarak ağın daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Node-to-segment şeması için, kontak koşullarını sağlamak için FEA yazılımı, Master ve Slave gövdeler arasında temas eden node' lar arasında içsel olarak MPC denklemlerini kullanmaktadır. Bu nedenle, Slave ve Master gövdeler tanımlanmalıdır. Temas eden her aktif node için, katı elemanlar için üç ve kiriş ve kabuk elemanları için altı kısıtlama denklemleri olacaktır.



Figür 5 — Node to Segment Kullanım Şeması

3.1.2 Node to Segment Avantajları

- Temas içeren problemlerin otomatik çözümüne izin verir.
- Otomatik tanımlanmış olduğu node' ları sızma olmamasını sağlamak için uygun kısıtlamaları oluşturur.
- Temas eden yüzeylerdeki yer değiştirmelerin uyumluluğunu da korur.
- Kullanıcı tanımlaması yoğun olmasına gerek yoktur.
- Deformable to Rigid ve Deformable to Defromable için kullanılır.
- Kauçuk problemlerinde yaygın olan Self-Contact ile entegre çalışır.

3.2. Segment to Segment Kavramı

Segment-to-segment Contact, iki segmentin birbirine temas ettiği durumlarda kullanılan bir yapısal analiz yöntemidir. Bu yöntem, özellikle katı cisimlerin çarpışmalarının ve temaslarının analizinde kullanılmaktadır. Eğer iki segment birbirine temas ediyorsa, kontak noktası belirlenir ve kontak kuvveti hesaplanır. Kontak kuvveti, segmentlerin malzeme özellikleri ve temas noktasındaki sürtünme katsayısı gibi faktörlere bağlı olmaktadır.

Segment to segment kontaklarının en önemli avantajı, segmentlerin şekillerinin ve boyutlarının farklı olabileceği durumlarda da kullanılabilmesidir. Bu sayede, farklı şekil ve boyutlardaki segmentler arasındaki temaslar analiz edilebilmektedir. Ancak Segment to segment kontak, hesaplama karmaşıklığı nedeniyle diğer kontak yöntemlerine göre daha yavaş olabilmektedir. Ayrıca, Segment to segment kontaklarının doğru sonuçlar vermesi için segmentlerin ayrıntılı olarak tanımlanması ve yeterli sayıda zaman adımı kullanılması gereklidir.

Sonuç olarak, Segment to segment kontak, iki segmentin birbirine temas ettiği durumlarda kullanılan bir yapısal analiz yöntemidir. Bu yöntem, segmentlerin konumunu ve hızını hesaplayarak, segmentlerin birbirine temas edip etmediğini belirler. Segment to segment kontak, farklı şekil ve boyutlardaki segmentler arasındaki temasları analiz edebilmesi nedeniyle önemlidir.

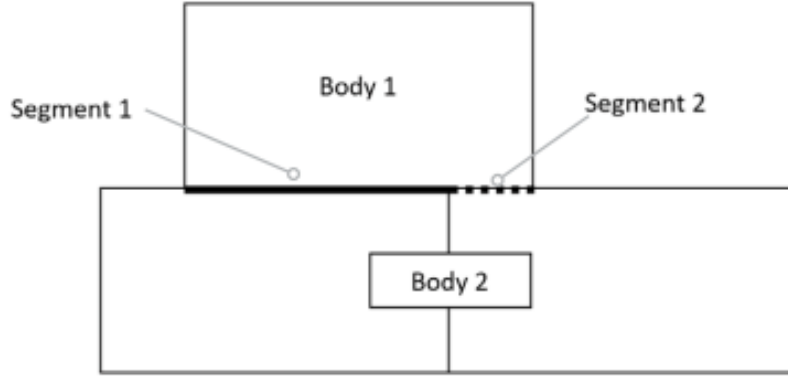
3.2.1 Segment to Segment Prosedürü

Segment to Segment Algoritmasının çalışma ilerleyişi aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır. Segment to segment kontak, iki segment arasındaki temas noktalarını belirleyerek çalışır. Her iki segment de, kenarları boyunca ayrıntılı bir şekilde tanımlanır. İki segmentin birbirine temas ettiği noktada, kontak noktası, her iki segmentin kenarları arasında bir doğru olarak tanımlanır.

Segment to segment kontaklarının çalışma prensibi, iki segmentin konumunu ve hızını hesaplayarak başlar. Segmentlerin konumu ve hızı, zaman adımları arasında hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar sonucu, segmentlerin birbirine temas edip etmediği belirlenmektedir.

Segment to segment kontak algılama yöntemi; kontak algılama için alternatif bir yaklaşım sunarak kontak algılama işlemini daha kolay hale getirir. Bu yöntem, eleman yüzüne ek noktalar ekler ve bu noktalar arasındaki kontak kontrol eder. Bu nedenle, temas yüzeyinde daha büyük bir mesh boyutu farkına izin verir ve temas yüzeyleri düz olmadığı durumlarda, özellikle kontak kuvveti dağılımının daha düzgün olmasına olanak tanır. Bu yöntemde Master-Slave kavramı bulunmaz ve her iki gövde kontak için kontrol edilir. Segment to segment kontak algılama yöntemi genellikle tercih edilen yöntemdir. Segment to segment teması ise içerisinde iki farklı seçenek barındırır;

- Small-sliding segment-to-segment contact
- Large-sliding segment-to-segment contact



Figür 6 — Segment to Segment Kullanım Şeması

Contact Body' lerinin birbirlerine göre hareket etmediği modellerde, small-sliding seçeneği analiz sırasında aynı elemanların temas halinde olacağından yeterlidir. Ancak, temas halindeki elemanlar arasında büyük bir göreceli hareket olan bir model için, her artış için temas halindeki elemanlar yeniden tanımlanmalı ve bu nedenle large-sliding seçeneği kullanılmalıdır. Large-sliding seçeneği; Large veya Small Sliding içeren herhangi bir modelde kullanılabilirken, Small Sliding seçeneği sadece small sliding içeren bir kontak modelinde kullanılabilir.

3.2.2 Segment to Segment Avantajları

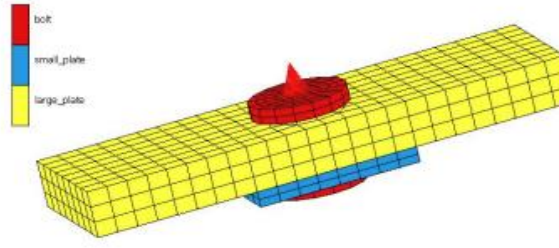
- Geliştirilmiş Doğruluk
- Kullanımı kolaydır.
- Master-Slave ilişki yapısı yoktur.
- Çift taraflı Shell kontak yapısını destekler.
- 2D ve 3D olan Linear/QQQuadratic elemanlar için kullanılır.

3.2.3 Segment to Segment Kısıtlamaları

Yöntem şu anda aşağıdakilerden herhangi biriyle kullanılamaz;

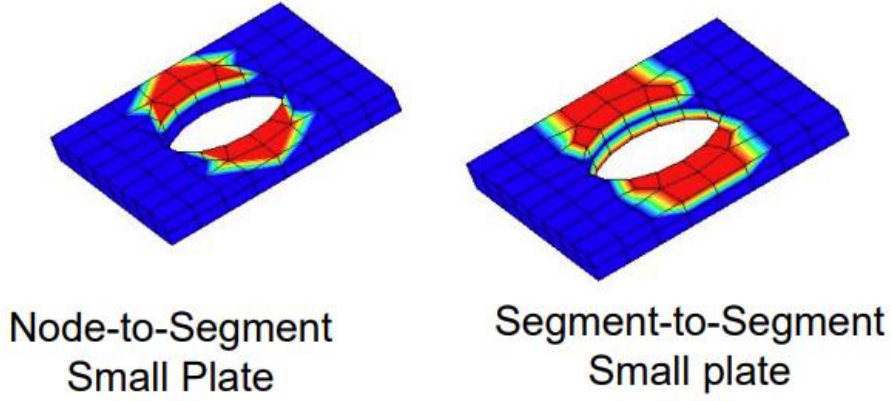
- Brake Squeal
- Anisotropic friction
- Wear
- Pore pressure
- Fluid-solid and piezo-electric Analizlerinde

3.3. Kontak Algoritmalarının Karşılaştırılması



Full model

Figür 7 — Karşılaştırma Yapılacak Modelin Mentat' daki Görüntüsü



Figür 8 — 2 Farklı Kontak Algoritması için Stress Dağılımını Gösteren Faktörler

Marc içerisinde yapılan aynı sınır şartlarına sahip iki farklı kontak algoritması için stress dağılımı Figür 8' de gösterilmiştir. Her iki kontak algoritma yönteminin stres dağılımı ve performansı farklılık göstermektedir. Stres dağılımı açısından, Node to Segment bağlantısı genellikle yüksek gerilim konsantrasyonlarına neden olur ve gerilimlerin segment boyunca yayılmasını engelleyerek, lokal bölgelerde daha yüksek olmasını sağlar. Diğer yandan, Segment to Segment bağlantısı daha düşük gerilim konsantrasyonlarına ve daha homojen bir gerilim dağılımına sahip olmaktadır. Stress bölgesinin yayılmasını sağlayarak, lokal bölgelerde daha düşük olmasını sağlar.

Bu nedenle, algoritma türü seçilirken, yük koşulları, malzeme özellikleri ve diğer faktörler dikkate alınmalıdır. Her iki durumda, doğru algoritma yöntemi seçimi, yapının doğru bir şekilde tasarlanmasını ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar.

4. Sonuç

Node to segment ve Segment to segment Kontak Algoritmaları, farklı durumlardaki uygulama gereksinimlerine bağlı olarak tercih edilmektedir.

Node to segment yöntemi, geometrik karmaşıklıkları olan sistemlerde kullanılmak üzere ortaya çıkmış bir yöntemdir. Bu yöntem, iki temas eden yüzey arasında küçük bir kontak alanı varsa, yüzeylerin düzleştirilmesi ve birbirine bağlanması yoluyla kullanılır. Bu yöntem, herhangi bir geometri ve malzeme özellikleri için kullanılmaktadır. Ancak, temas eden yüzeyler arasında çok büyük geometrik farklılıklar varsa (büyük boşluklar içeriyorsa) ve kontak kuvvetleri düzensiz dağılıyorsa, neticede elde edilen sonuçlar doğru olmayabilir. Bu yöntem, genellikle küçük kontak alanları veya daha düzgün kontak kuvvetleri gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

Segment to segment yöntemi, daha yüksek doğruluk sağlayan ve kontak kuvvetlerinin daha düzgün dağılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, farklı geometriler ve malzeme özellikleri için kullanılabilir. Segment to segment yöntemi, birbirine temas eden yüzeyleri alt elemanlara ayıran ve temas kuvvetlerini hesaplayan bir algoritma kullanır. Bu yöntem daha fazla hesaplama süresi gerektirir ve daha fazla bellek gerektirir. Ancak, daha doğru sonuçlar sağlar. Bu yöntem, genellikle daha büyük temas alanları veya düzensiz kontak kuvvetleri gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

Model şartı gereksinimlerine bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağına karar vermek önemlidir. Özellikle büyük ve karmaşık modellerde, segment to segment yöntemi daha doğru sonuçlar sağlarken, küçük ve düzgün kontak kuvvetleri gerektiren uygulamalarda node to segment yöntemi tercih edilmektedir. Ancak, segment to segment yöntemi, yüksek hesaplama süresi nedeniyle bazı uygulamalar için uygun olmamaktadır. Bu nedenle, kurulan modelin gereksinimlerine ve tasarımın özelliklerine bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmelidir.

Elimizdeki geometrik model, hiper-elastik özellik gösteren kauçuk malzemeden imal ediliyorsa Self Contact durumlarında iyi sonuçlar veren Node to Segment tercih edilebilir.

Daha robust bir modele sahipsek ve kontak parametreleri üzerinde daha fazla hakimiyet sağlamak istiyorsak; örneğin Augmentation veya Penalty kontak algılama metodlarını manuel olarak belirlemek istiyorsak; Segment to Segment faydalı bir seçim olmaktadır. Daha fazla çözüm süresi karşılığında, Penetrasyon durumu daha net incelenebilir.

Yine segment to segment tercih edilme sebepleri arasında, beam-beam Kontak ve Multi Fizik desteği de yer almaktadır. Sliding konumundaki Bilinear Coulomb ve Bilinear Shear sürtünme durumlarını modelleyebilmektedir.

5. Referanslar

- I. Marc Volume A to E
- II. Dominique Madier — Practical Finite Element Analysis for Mechanical Engineers
- III. SimAcaddemy — Node to Segment and Segment to Segment Contact in Marc.