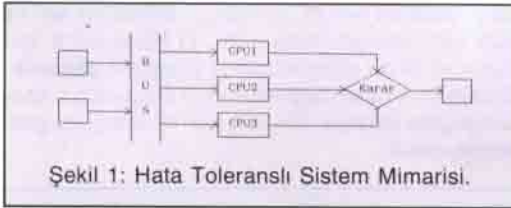


BİZANS GENERALLERİ PROBLEMİ

Hüseyin DURSUN*

İşletim sistemlerindeki birçok yapının tasarımı, günlük hayattan basit gibi görünen, ama karmaşık sayılabilecek problemlere simüle edilebilmektedir. Bunların en çok bilineni, kilitlemelerle (deadlock) ilgili olan filozoflar problemi (bakery algorithm), uyuyan berber problemi (sleeping barber) ve sigara içenler problemi (cigarette smokers) gibi örnekleri sayabiliriz. Üzerinde konuşacağımız problem, saydığımız örneklerdeki gibi ilginç bir olaydan seçilmiş olup, güvenilir (reliable) ve hata toleranslı (fault tolerant) sistemlerinin tasarımında kullanılmaktadır.

Birden fazla üniteye sahip olan bir sistemde amaç, yüksek derecede paralellik elde etmenin yanında, yapılan işlemleri birden fazla işlemciye aynı anda kopyalayarak sistemin güvenilirliğini artırmaktır. Böyle bir sistem her zaman hata toleranslı olmak zorundadır. Hata toleransı (Fault Tolerant) ne demektir? Sistemdeki ünitelerden birinde bir aksaklık meydana geldiğinde, sistemin doğru ya da en azından doğruya yakın sonuçlar verebilmesidir. Hata toleranslı bir sistemin mimarisi Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1: Hata Toleranslı Sistem Mimarisi.

Girdiler bus aracılığıyla birden fazla üniteye kopyalanmaktadır ve işlemciler gerekli sonucu hesaplayarak kıyaslama ünitesine göndermektedir. Sonuç, çıktıların kıyaslanması sonucu en çok verilen değerden elde edilir. Bu bir çeşit oylamaymış gibi düşünülebilir. Ünitelerden birinin, yanlış veya diğerlerinden farklı bir sonuç vermesi ve hatta devre dışı kalması, sizin de tahmin edebileceğiniz gibi, sonucu etkilemeyecektir. Daha riskli sistemlerde, örneğin uçuş kontrolü ile ilgili işlemlerde, girdilerin olduğu gibi çıktıların da birden fazla kopyası alınmaktadır.

PROBLEMİN TANIMLANMASI

Bir grup Bizans ordusu generali, düşmana saldırı için hazırlık yapmaktadır ve ordunun her ünitesi bir generalin kontrolü altında tutulmaktadır. Bir ünitenin diğer bir ünite ile haberleşmesi, generaller arasındaki mesaj alışverişiyle sağlanmaktadır. Mesaj alışverişinin telefonla yapıldığını varsayarak aşağıdaki kısıtlamaları problemimize ekliyoruz.

• Telefon hatlarında bir hata olmadığını ve her iki general arasında ayrı bir telefon hattının bulunduğunu varsayıyoruz.

• Hatlar doğrudan bir generalden bir diğerine olup, gönderilen mesajın kimden alındığı alan kişi tarafından bilinmektedir.

• Mesaj alışverişinin olmaması, gerçekten mesaj gönderilmediği için olup, düşmanın hatları kesmesi ihtimali olmadığını kabul ediyoruz.

Generaller her zaman görüş birliği içinde hareket etmektedir. Bu durumda muhtemel kararların listesi şu şekilde sıralanabilir:

- Hücum
- Geri çekil
- Sola doğru hücum
- Sağa doğru hücum

Ayrıca algoritma aşağıdaki koşulları da sağlamak zorundadır:

• Görevine sadık olan tüm generaller aynı kararı almalıdır.

• Sadık olan her general karar verirken, diğer tüm sadık generallerden aldığı mesajları kullanır.

Birinci kısıtlamanın anlamı, birkaç vatan haininin orduyu bölemeyeceğidir. İkinci kısıtlama ise verilen kararın rastgele olmadığı, belli bir kurala göre saptandığını göstermektedir.

Bu soyutlama, 4 işlemciye sahip olan bir sistem üzerine uygulanacak olursa, sistemin doğru çalışması, 3 ünitenin aynı sonucu vermesiyle sağlanabilir. Yani ünitelerden birinin devre dışı kalması veya yanlış sonuç vermesi, sistemin güvenilirliğini fazla etkilemeyecektir. Şimdi problemimize dönelim:

Eğer generallerden üçte ikisi veya daha fazla görevine sadıksa, vatan hainlerinin vereceği kararlar hiçbir zaman sonucu etkilemeyecektir. Bunun yanında generallerin birden fazlası vatan haini ise sonuçun vahim olduğu tahmin edilebilir.

Problemi biraz daha özelleştirelim. 4 generalin olduğu bir ortamda, bir tane vatan haini general olması, savaşın sonucunu etkilemeyecektir. Bunun yanında üç generalli bir ortamda bulunan bir vatan haini çözümsüzlük yaratacaktır.

4 GENERAL İÇİN ALGORİTMA

Ordunun 3 sadık ve bir vatan haini generalden oluştuğunu varsayalım; ayrıca sadık olan tüm generallerin aynı kararı uyguladıklarını kabul edelim. Bunların yanında bir önceki kısımdaki kısıtlamaların da tamamının burada geçerli olduğunu unutmayalım.

* ODTÜ Matematik Bölümü Araş. Gör.

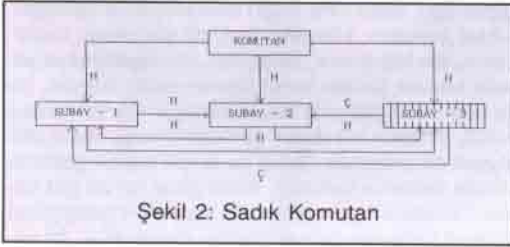
Tüm bu bilgilerin ışığında algoritmanın tasarımına geçebiliriz. Tasarımı günlük hayata daha da yakınlaştırmak için genellerden birinin komutan olduğunu ve planı yürüttüğünü varsayalım. Algoritma şu şekilde olacaktır:

- Komutan, kararını diğer tüm subaylara bildirir.
- Haberi alan bir subay, bu haberi diğer tüm subaylara gönderir.
- Herhangi bir subay, komutandan ve diğer subaylardan aldığı mesajları kıyaslayarak çoğunluğun kararını uygular.

Şimdi önümüzde iki ihtimal mevcut:

- Vatan haini olan general komutan olabilir.
- Vatan haini olan general komutanın altında bir subay olabilir.

Eğer komutan vatan haini değilse, subayların aynı kararı alacağını aşağıdaki şekil 2'den çıkarabiliriz.

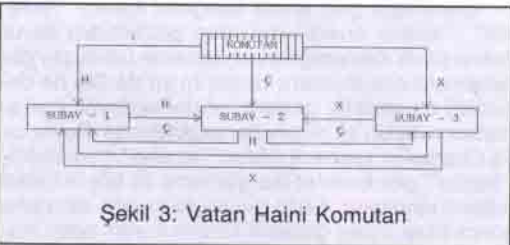


Şekil 2: Sadık Komutan

H : Hücum
Ç : Çekil

Şekilde de görüldüğü gibi sadık bir subay, komutandan aldığı hücum mesajını diğer subaylara aynı şekilde iletir. Vatan haini olan subay, genelde komutanın emrinin aksini veya emir dışı bir işlem yapacaktır. Fakat vatan haini olan ne mesaj verirse versin oylamadaki sonucu etkilemeyecektir.

Komutan vatan haini ise, subayların tamamı görüş birliği içerisinde ve komutanın kararı sonucu etkilemeyecektir. Subayların hepsi sadık olduğu için, aldıkları mesajı diğer subaylara ileticektir.



Şekil 3: Vatan Haini Komutan

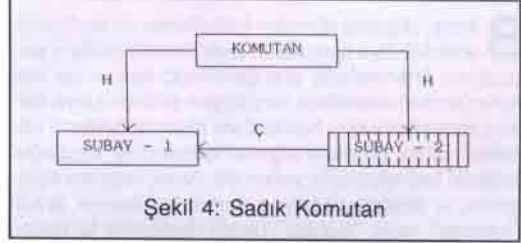
Yukarıdaki şekil 3 için sonuç, komutanın X yeri vereceği karara bağlıdır.

X hücum ise sonuç hücum, X çekil ise sonuç çekil olacaktır. Yani komutan 2 veya daha fazla subaya aynı mesajı gönderdiği her durumda görüş birliği sağlayacaktır.

3 GENERALLE GELEN ÇÖZÜMSÜZLÜK

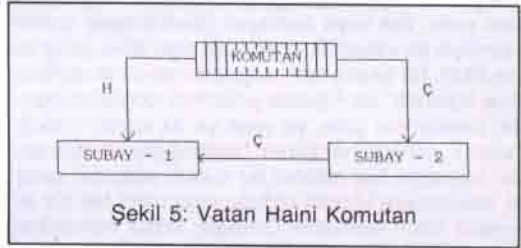
Yukarıda anlatılan algoritma üç general için çözüm vermeyecektir. Yine aynı şekilde 3 generalden bir tanesinin vatan haini olduğunu kabul edersek, 2 ihtimalle karşı karşıya kalacağız: Komutanın sadık olması veya vatan haini olması.

İlk olarak komutanın sadık olduğunu ve diğer subaylara hücum mesajını gönderdiğini düşünelim.



Şekil 4: Sadık Komutan

Subay - 1, komutandan hücum, subay - 2'den çekil mesajını alacaktır. Komutan sadık olduğu için subay - 1 hücum etmeliyken, burada bir kararsızlık yaşanacaktır. Diğer taraftan, komutanın vatan haini olduğu durumda tablo aşağıdaki şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5: Vatan Haini Komutan

Komutan, subaylardan birine hücum diğerine çekil mesajı gönderecektir. Her iki durumda da subay-1 için bir çıkmaz yaşanacaktır. Subay - 1, birinci durumda neye karar veriyse, burada da onu uygulayacaktır.

Algoritmalar daha büyük ordular (daha fazla üniteye sahip sistemler) için düşünülecek olursa, 7 general bir ortamda 2 vatan haini general sonucu etkilemeyecek ve 6 general bir ortamda 2 vatan haini çözümsüzlük yaratacaktır. Örneklerin de gösterdiği gibi, hata toleranslı bir sistemin tasarımı her zaman normal bir sistemin tasarımından daha karmaşık olup hayata daha açıktır; ama görüldüğü gibi ortaya çıkan veya çıkabilecek olan hatalar her zaman felaket yaratmamaktadır.

Bu yazı Principles of Concurrent and Distributed Programming - M. Ben - Ari 1990'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

İyi insan başkalarını sever;
fakat kimseye dalkavukluk etmez.

Aristo