

Elektrikli Araçların Şarjı ile Güç Şebekesine Aşırı Yüklenilmesinin Ayrık Denetleyici Sentezi ile Önlenilmesi

Mete ÖZBALTAN^{1*}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-3215-6363>

*Sorumlu yazar: mete.ozbaltan@erzurum.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.02.2022

Kabul tarihi:01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Ayrık olaylı sistemler

Sembolik ayrık denetleyici sentezi

Güç şebekesi yöneticisi

Elektrikli araçlar

ÖZ

Bu çalışma elektrikli araçların şarjı ile güç şebekesine aşırı yüklenilmesinin önlenmesi için ayrık denetleyici sentezi yöntemi ile bir modelleme çerçevesi önermektedir; burada, modeller senkron veri akış dilleri ailesi ile sembolik olarak sistematik bir şekilde inşa edilmiştir. Çalışmada, şebekeye aşırı güç yüklenilmesinin önüne geçecek adımların nasıl belirlendiği, belirtilen mevcut sorunun nasıl ayrık olayların kontrol problemi olarak ele alındığı ve nihayetinde ortaya çıkan sentezlenen bir denetleyicinin elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi olarak nasıl kullanıldığı detaylandırılır. Son olarak, çalışma kapsamında sunulan modelleme ve sentez algoritmaları deneysel bir uygulama ile doğrulanır.

Avoiding Overloading of the Power Grid by Charging Electric Vehicles, by using Discrete Controller Synthesis

Research Article

Article History:

Received: 11.02.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Discrete event systems

Symbolic discrete controller

Synthesis, power grid manager

Electric vehicles

ABSTRACT

This work proposes a modeling framework for avoiding overloading of the power grid by charging electric vehicles, by using discrete controller synthesis. These models are systematically built by using synchronous data-flow languages, as symbolically. In this work, the following problems are detailed. The first phase is to identify the steps to avoid power overload to the grid. And, it is revealed how the plant is handled as a discrete event control problem. Then, the use of the resulted controller as a power-grid charging manager for electric vehicles is presented. Finally, the modeling and synthesis algorithms presented in the study are validated with an experimental application.

To Cite: Özbaltan M. Elektrikli Araçların Şarjı ile Güç Şebekesine Aşırı Yüklenilmesinin Ayrık Denetleyici Sentezi ile Önlenilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1626-1634.

1. Giriş

Elektrikli araçlar için en önemli sorunlardan biri enerji yönetimi ile ilgilidir. Araçların bataryalarının dolumu için gerekli süre şebekeden çekilen güç ile ters orantılıdır. Gerçek hayat dinamikleri ile değerlendirme yapıldığında bu kısıt optimum noktada tutulma zorunluluğu doğurur. Bu makalede bu sorun geri beslemeli ayrık kontrol problemi olarak görülmüştür. Araçların bataryalarında bulunan enerji ile şebekeden çekilen enerji arasındaki yönetim mekanizması ayrık kontrol yöntemi kullanılarak tasarlanır.

Ayrık olay sistemlerinin kontrol teorisi ilk olarak (Ramadge ve Wonham, 1989) tarafından dil teorisi olarak önerilmiştir; teori genellikle verilen bir sistem ve istenilen kontrol hedefleri doğrultusunda bir denetleyici sentezlemeyi hedefler. Daha sonraki çalışmalarda otomata (Cassandras ve Lafortune, 2007), sonlu durum makineleri (Ramadge ve Wonham, 1989) ve Petri nets (Holloway ve ark., 1997) gibi birçok modelleme yaklaşımları izlenilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, ayrık olay sistemlerinin kontrol teorisi için çeşitli modelleme yöntemleri mevcuttur ve incelenmiştir; ancak, bu modeller durum patlaması probleminden oldukça muzdariptir. Bir diğer modelleme yöntemi olan veri akışı modelleri, düğümleri durumlar ve kenarları geçişler olan yönlü bir grafin üzerindeki hesaba dayalıdır ve veri akışı modellerinin (sembolik yaklaşım) kullanımı, sonlu/sonsuz ayrık olay sistemlerinin modellerinin sonlu bir sembolik geçişler kümesinden oluşabildiği ölçeklenebilirlik sorunlarının (yani durum patlaması sorununun) üstesinden gelmektedir.

Bu araştırmada, bir modelin belirtimi (plant), veri akışı modellerinin hesaplanmasını koşullu ifadelerle genişleten eşzamanlı veri akışı dilleri kavramı kullanılarak değerlendirilir. Burada belirtmek istenilen açık otomatların (yani durum geçişlerinin) senkron diller aracılığıyla sembolik olarak (örtük olarak) kodlandığıdır. Kontrol teorisi daha sonra güvenli (safety) ve optimizasyon gibi çeşitli kontrol amaçlarını karşılayan denetleyicileri sentezlemek için bir veri akışı modeline uygulanır. Sembolik geçiş modelleri, olaylar yerine sembolik geçişleri kullanarak kontrol edilebilirlik kavramını tanımlar. Bu nedenle, bir giriş/çıkış sonlu/sonsuz durum sisteminin modeli, bir dizi sonlu sembolik geçiş ile oluşturulabilir.

Giriş/çıkış yaklaşımı az sayıda bazı makalelerde ele alınmaktadır; ancak hemen hemen hepsinde sistemler sonlu durum makineleri veya otomatlar (Balemi ve ark., 1993) olarak tanımlanır. Örnek olarak otomata tabanlı senkron dil yaklaşımı (Maraninchi ve Remond, 2001) tarafından çalışılmıştır; ancak durum patlaması problemi sembolik yaklaşımların kullanılmasına yönlendirmiştir (örneğin Altisen ve ark., 2003) etiketli geçiş sistemini önermiştir). (Marchand ve Borgne, 1998; Marchand ve Samaan, 2000; Marchand ve ark., 2000; Deval ve ark., 2013) çalışmaları güvenli (safety) kontrol sentezi için giriş/çıkış sembolik yaklaşımını kullanırlar; ancak, bu çalışmaların hepsinde sadece bool değişkenleri ele alınır ve (Dutertre, 1992) tarafından geliştirilmiş aynı sentez algoritması kullanılır. (Berthier ve Marchand, 2014; Berthier ve Marchand, 2015) ise sonsuz sistemler için sentez algoritmasının en son çalışmalarındandır. Bu çalışmaların yanı sıra optimizasyon hedefi (Marchand ve Borgne, 1998; Marchand ve Samaan, 2000) ve maliyet fonksiyonu (Dumitrescu ve ark., 2010) ayrık kontrol sentezi alanında çalışmaların önemle durulduğu başlıklardandır ve algoritmalarda kullanılan strateji dinamik programlama algoritmasına dayanır (Bellman, 1958).

Ayrık denetleyici sentezi tekniği literatürde birçok sisteme uygulanmış ve gerek güvenli (safety) gerekse de optimizasyon hedefleri doğrultusunda enerji yönetiminde yararlanılabilir bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Örnek olarak (Özbaltan ve Berthier, 2018; Özbaltan, 2020; Özbaltan ve Berthier, 2020) donanım devrelerinin güç verimliliğini hedeflemiş ve (Zhao ve ark., 2012) yalnızca güvenli kontrol algoritmasını kullanarak güç şebeklerinde enerji yönetimi üzerine çalışmıştır. Bu

makalede elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi, sembolik ayrık kontrol yöntemi kullanılarak sistematik bir yaklaşım ile sunulur ve bir uygulama ile deneysel olarak değerlendirilir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ayrık olaylı sistemlerin kontrolü

Ayrık olaylı sistemlerin kontrolü (Supervisory Control Theory), verilen bir kontrol edilmemiş ayrık olay sisteminin (plant-P) istenilen özelliklerin (Sp) sağlanması için geri bildirim yoluyla kontrolüne bir denetleyici/gözetici (supervisor-S) vasıtası ile sağlanması prensibine dayanmaktadır ve dil teorisi olarak formal bir şekilde aşağıda verilmiştir (Ramadge ve Wonham, 1989; Cassandras ve Lafortune, 2007).

Verilen bir ayrık olay sistemi AOS, 6-tuple $G = (X, \Sigma, \delta, x_0, X_m)$ sonlu otomatı olarak modellenilebilir, burada:

- X sonlu durumlar kümesidir;
- Σ sonlu olaylar kümesidir;
- $\delta \subseteq (X \times \Sigma \times X)$ bir durum geçiş fonksiyonu kümesidir;
- x_0 , X kümesinden bir başlangıç değeridir;
- X_m , X kümesi içerisinde işaretlenmiş durumlar kümesidir.

Yukarıdaki gibi bir G otomatının oluşturduğu dil: $\mathcal{L}(G) = \{s \in \Sigma^* \mid \delta(x_0, s)\}$, burada:

- Σ^* , Σ alfabesinin elemanları (string) ve boş string ε 'un ardı ardına eklenerek oluşturabileceği string ifadeler kümesidir;
- Σ üzerinde tanımlanan bir dil $\mathcal{L} \subseteq \Sigma^*$ 'dir;
- $s \in \Sigma^*$ için s 'in ön takıları (prefix) $\bar{s} = \{s_p \in \Sigma^* \mid \exists t \in \Sigma^* (s_p t = s)\}$ 'dir;
- $\mathcal{L} = \bar{\mathcal{L}}$ ifadesini sağlayan bir dil \mathcal{L} için ön takılar kapalıdır (prefix closed);

ve işaretlenmiş dil: $\mathcal{L}_m(G) = \{s \in \mathcal{L}(G) \mid \delta(x_0, s) \in X_m\}$ olarak tanımlanmışlardır.

Verilen bir kapalı çevrim sistemi plant-P ve sistemde istenilen özellikler Sp'yi sağlaması beklenen gözetici/denetleyici supervisor-S'nin paralel senkron kompozisyonu $P||S$, Sp'yi sağlamak zorundadır, burada:

- $\overline{\mathcal{L}_m(P||S)} = \mathcal{L}(P||S)$ yani bloklamasızdır ve paralel senkron kompozisyona izin verir;
- $\mathcal{L}(S_p) \subseteq \Sigma^*$ 'dir;
- Sistemde tanımlı olaylar kümesi, kontrol edilebilir Σ_c ve kontrol edilemez olaylar Σ_{uc} diye ikiye ayrılabilir ($\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_{uc}$).

Verilen spesifikasyonu (Sp) sağlayan kontrol edilebilir bir sistemin $(P||S)$ mevcudiyeti ancak $\overline{K} \Sigma_{uc} \cap \mathcal{L}(S_p) \subseteq \bar{K}$ şartı ile sağlanır, burada:

- Kontrol edilebilir alt diller $K \subseteq \mathcal{L}_m(S_p)$ ve $\mathcal{L}(S_p) \subseteq \Sigma^*$ 'dir;

- En fazla izin veren (maximally permissive) veya en az kısıtlayan (minimally restrictive) bir denetleyici için en yüksek mertebeden izin veren alt diller (supremental controllable sub-languages) $\mathcal{L}(P||S) = \sup C(K, \mathcal{L}(P), \Sigma_{uc})$ olarak tanımlanır.

2.2. Sembolik modelleme üzerinde ayrık kontrol

Sembolik modelleme bir etiketli giriş/çıkış otomata (input/output automata-Mealy machine) modellemesidir. Kontrol edilebilirlik olaylar yerine çıkışların girişlerin fonksiyonu olarak sembolik durumların geçişleri aracılığı ile sağlanması prensibine dayanır. Böylelikle gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin (örnek olarak kontrol edilebilir bir giriş sinyali ile bir sistemin kontrol edilmesi gibi) sembolik olarak modellenmesi ve kontrolü standart kontrol algoritmaları yerine daha efektif bir çözüm sunmaktadır. Sonsuz sayıdaki olayın sonlu sayıda sembolik geçiş ile modellenenebilmesine izin veren ayrık olaylar için sunulan modelleme çerçevesi aynı zamanda durum patlama problemini de ortadan kaldırmaktadır. Modelleme ve kontrol mekanizmaları alt bölümlerde açıklanmaktadır.

Sembolik Modelleme:

Sembolik modeller bir sembol-vektör (\mathcal{S}) kümesi olarak veri-akış dil ailesi kullanılarak inşa edilmektedir. Her sembol bir \mathbb{D} domainindedir ve değişmez (constant) bir ifade de olabilir, burada $\mathbb{D} \in \mathbb{B}, \mathbb{N}, \mathbb{Q}$ 'dir. Bir sembol S olduğu \mathbb{D} domaininde bir ifadeye karşılık gelerek temsil edilebilmekte ve ifadenin içerdiği semboller o sembolün karşılık geldiği ifadenin yerini tutmaktadır. Yer tutan sembollerin haricinde hafızalı semboller de klasik olarak eşitliğin sağ tarafındaki ifadenin değeri, eşitliğin sol tarafında bulunan sembolün bir sonraki değerini verecek şekildedir. İfadeler genel olarak koşullu matematiksel ve boolean cebirini içermektedir.

Üst paragraftaki tanıma göre kolaylıkla açık olarak verilen bir otomatın örtük (data-flow veya sembolik) bir biçimde ifade edilebilir ve formal bir biçimde 5-tuple $(Q, I, O, \theta_0, \delta)$ olarak verilir, burada: Q sonlu sayıda durum değişkenleri kümesi; I sonlu sayıda giriş değişkenleri kümesi; O sonlu sayıda çıkış değişkenleri kümesi; $\theta_0 \in Q$ bir başlangıç değeri; ve δ durum geçişleri kümesi, burada bir geçiş $q \xrightarrow{i/o} q'$ olarak ifade edilir ($q \in Q, q' \in Q, i \in I$ ve $o \in O$).

Sembolik Kontrol:

Sembolik bir kontrol problemini çözmek bir oyun olarak düşünülürse: birinci oyuncu ortamın davranışlarını ikinci oyuncu kontrol edilebilir olaylarını yönetir. Oyun, birinci oyuncunun yaptığı en iyi hamleye karşılık ikinci oyuncunun en iyi hamlesi sonucunda oluşan durumların tespiti ve devamı yönündedir.

Önceki bölümde sunulan 5-tuple modelin, giriş/çıkış otomati halinde, verilen bir spesifikasyonu (σ) sağlayan kontrol edilebilirliği giriş değişkenlerinden kontrol edilebilir olanların bir denetleyici sentezi vasıtası ile dinamik bir şekilde belirlenmesi ile gerçekleştirilir ve formal olarak önceki bölümde verilen model, 7-tuple $(Q, I_c, I_{uc}, O, \theta_0, \delta, C_\sigma)$ olarak yeniden yazılır, burada: $I_c \in I$ kontrol edilebilir değişkenleri, $I_{uc} \in I$ kontrol edilemeyen değişkenleri ve C_σ verilen bir spesifikasyonu sağlamak için gerekli giriş değişkenlerinin (I_c) değerlerini üreten bir denetleyiciyi temsil eder; ve

verilen bir sistem için ve bu sistem için istenilen bir spesifikasyonu garanti eden denetleyicinin sentezi sunulan 7-tuple modelin çözümü ile elde edilir.

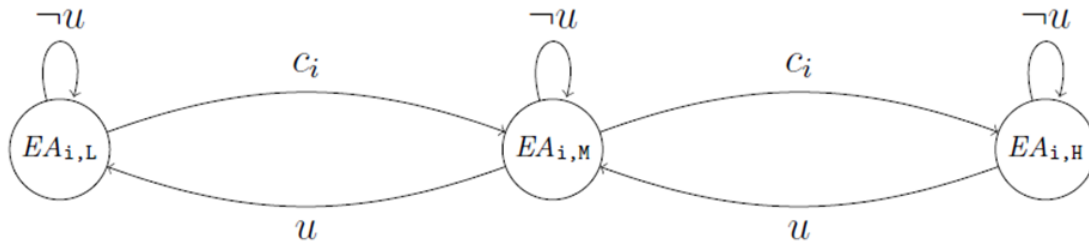
2.3. Elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi

Giriş bölümünde belirtildiği gibi elektrikli araçların yaygınlaşması ile şebekeye aşırı yüklenilmesinden dolayı önemli sorunların açığa çıkacağı tartışılmazdır. Bu çalışmada bu sorun geri beslemeli kontrol problemi olarak görülmüştür ve yukarıda verilenler üzerine bir sembolik sistem modeli geliştirilir; bu modele ayrık kontrol sentezi algoritmaları uygulanılarak bu sorunun üstesinden gelen bir denetleyici sentezlenir ve elektrikli araçlar şarj yöneticisi olarak şebekeye aşırı yüklenilmesini önlemek amacı ile kullanılır.

Modelleme çerçevesi doğrultusunda elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi için bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} inşa edilir. Bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} : (i) her araç için oluşturulan elektrikli araçlar batarya-şarj modeli (batarya enerjilerinin kritik seviyelerin altına inmesini engellemek için); (ii) şebeke için tasarlanan güç-uyarı modeli (şebekeden çekilen güç miktarının kritik seviyenin üzerine çıkmasını engellemek için); (iii) ve kontrol hedeflerinin senkron paralel kompozisyonundan oluşur. Burada her bir ifade veri-akışı eşitlikleri şeklinde senkron paralel dil ailesi ile kodlanır.

Daha sonra, oluşturulan bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} 'ye şebekeye aşırı yüklenmeyi önleyecek ve çekilen yükü azaltacak şekilde güvenli (safety) ve optimizasyon kontrol algoritmaları uygulanılarak denetleyici sentezlenir. Bu denetleyici istenilen kontrol hedeflerini her zaman garanti eder ki bu çalışma kapsamında şebekeden çekilen güç miktarının kritik seviyelerin üzerine çıkılmasının engellenmesi yanında araçların batarya seviyelerinin de belirlenen kritik seviyelerin altına düşmesi engellenir. Optimizasyon algoritması ise olası gelecek durumları da hesaba katarak oluşabilecek en kötü durumdan kaçınır ve şebekeden çekilen gücün her zaman yüksek değerlere çıkmasını engeller. Not olarak şebekeden çekilen toplam güç değişmemektedir sadece birim zamanda çekilen güç kısıtlanarak olası problemlerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Elektrikli Araçların Modellenmesi:

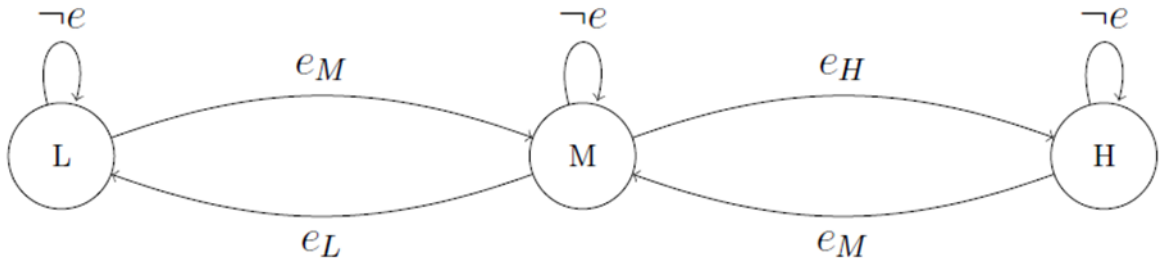


Şekil 1. Elektrikli Araçlar Batarya-Şarj Modeli

Elektrikli araçlar batarya şarj modelinde her bir araç için Şekil 1'deki gibi bir otomata oluşturulmuş ve bu otomatlar sembolik olarak ayrı ayrı kodlanmıştır. Burada her bir araç EA_i için üç farklı kapasite durumu belirtilmiştir: $EA_{i,L}$ (düşük), $EA_{i,M}$ (orta) ve $EA_{i,H}$ (yüksek). Şekil 1'de görüldüğü üzere herhangi bir aracın bataryasının (EA_i) dolumu ilgili bir kontrol edilebilir değişken c_i ile

sağlanabiliyorken batarya deşarj işlemi kontrol edilemez bir ortamda bulunmaktadır (yani kontrol edilemeyen bir olay veya giriş değişkeni u). Daha açık bir şekilde unformal olarak araçların bataryasının şarj işlemi ancak gelecek ikaz bildirisi (denetleyici sentezi sonrasında) üzere araç kullanıcısı tarafından sağlanacaktır; bunun yanında batarya tüketimi herhangi bir nedenle kontrol edemediğimiz bir şekilde gerçekleşebilir. Burada ikaz bildirisi ile hedeflenen, aracın bataryasının kritik seviyenin altına inmesinin yanı sıra şebekenin izin verdiği bir durumda (yani $EA_{i,L}$, $EA_{i,M}$, $EA_{i,H}$) da gerçekleşebilmesidir. Yani amaçlanan kontrol değişkenleri ile hem aracın bataryasının kritik seviyelerin altına düşmesi engellenmekte hem de şebekeye aşırı yüklenilmesi önlenilmektedir. Not olarak burada bir kontrol edilebilir değişkenin (c_i) ne kadar süre doluma izin verdiği ilgili kontrol algoritmalarının uygulanmasından sonra dinamik olarak belirlenmektedir; ancak en az bir kademe dolum yapılmaktadır.

Güç Şebekesinin Modellenmesi:



Şekil 2. Şebeke Güç-Uyarı Modeli

Güç şebekesinin modellenmesinde Şekil 2'deki gibi bir güç-uyarı mekanizması geliştirilerek üç farklı kademe ile sistemin ikaz vermesi sağlanmıştır; burada kademeler L (düşük), M (orta) ve H (yüksek)'tir. Kademeler arasındaki geçişler görüldüğü üzere kontrol edilemeyen çevresel faktörler e ile gerçekleşmektedir; buradaki kontrol edilemeyen sinyaller de batarya-şarj modelinde olduğu gibi birçok etkene bağlı olabilir ancak yine de bir başka çalışmada stokastik bir şekilde modellenir (örneğin bir şehre ait zaman-güç istatistikleri veya araçlar için kullanıcı istatistikleri gibi); bu çalışmada çevresel faktörler kontrol edilemeyen giriş değişkenleri olarak ele alınmıştır. Güç-uyarı modelindeki durumlar, yardımcı veri-akış eşitlikleri ile aşağıda kontrol hedefleri doğrultusunda batarya-şarj modeli içerisinde bulunan kontrol değişkenlerini sentez algoritması sonucunda dinamik bir şekilde nihayetlendirir.

Kontrol Hedefi:

Yukarıda vurgulandığı gibi hem araçların bataryalarının kritik seviyelerin altına inmemesi hem de şebekeye aşırı yüklenilmemesi hedefleri doğrultusunda sunulan güvenli kontrol algoritması uygulanılarak sistem davranışları etkilenmeden belirtilen kontrol hedeflerini sağlayan denetleyici sentezlenmesi sağlanır. Burada araçların bataryaları ve şebeke için sırasıyla dip ve pik noktaları

belirlenir ve bu sınırların dışına çıkıldığında kontrol edilen değişkenler {true,false} küme seti içinde değiştirilir. Bunun yanı sıra optimizasyon hedefleri de gelecek vade durum değişkenleri eşliğinde (istatistiksel veriler ile stokastik bir durum modeli oluşturularak) kullanılarak hem an itibarı ile şebekeden çekilen gücün en aza indirgenmesi hem de gelecek bir zamanda en az seviyede olması sağlanır.

3. Bulgular ve Tartışma

Verilen elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi için çok sayıda çeşitli yapay senaryolar rastsal olarak, tasarlanan bir script ile otonom bir şekilde kurgulanmıştır. Bu senaryolardaki değişkenler: araç sayısı, araçların batarya kapasiteleri ve zaman içerisindeki değişimleri, araçların şebekeden çektikleri güç, şebekenin yük eşik sınırları ve kontrol hedefleridir. Senaryoların kurgulanıp değerlendirilmesindeki aşamalar aşağıdaki gibi sıralanmıştır: (i) değişkenler rastsal olarak script tarafından oluşturulur; (ii) bu değişkenler ile verilen modeller ve kontrol hedefleri senkron diller kavramı (veri akışı eşitlikleri) doğrultusunda kodlanır; (iii) daha sonra scriptin bulunduğu ortam dışındaki başka bir ortamda (ReaX (Berthier ve Marchand, 2014)) oluşturulan veri akış modeline sunulan kontrol algoritmalarının uygulanması ile bir denetleyici sentezlenir; (iv) ve son olarak sentezlenen denetleyicinin script ortamına tekrar aktarılması ile senaryodaki kurgular (örnek: zamana bağlı batarya tüketimi) tamamlanır ve sonuçlar değerlendirilir.

Sonuç olarak beklenildiği gibi güvenli (safety) algoritması, araçları ve şebekeyi verilenler ile güvenli durum uzayı bölgesinde tutmaktadır ve bununla birlikte optimizasyon algoritmasının da gelecek durumları hesaba katarak safety algoritmasının sağladığı güvenli durum uzayı bölgesi içerisinde kontrol edilemeyen olayların en kötüsüne karşılık kontrol edilebilir olayların en iyisi ile cevap verdiği deneysel gözlem ile sabittir. Farklı bir deyişle bütün araçlar her zaman için bataryalarındaki enerji bitmeden yani belirtilen kritik seviyenin altına düşmeden tekrar şebekeden dolun sağlayabilmişlerdir ve şebekeden çekilen güç de her zaman mümkün mertebe en alt seviyelerde tutularak çekilen gücün kritik seviyelere çıkması engellenmiştir (yani şebekeden çekilen güç herhangi bir anda kritik seviyenin üzerinde bulunmamıştır). Bunun yanında senaryolar için sentez algoritmasının uygulanmadığı kontrol grupları incelendiğinde şebekeden çekilen güçler her zaman sunulan sisteminkinden daha fazla olmuş ve şebekeden izin verilen çekilebilecek gücün pik noktasının üzerine çıktıkları görülmüştür. Not olarak sunulan modelleme çerçevesinde, senaryolar arasında düşük, orta ve yüksek uyarı seviyelerine rastlanılmıştır; ancak şebekeden izin verilen çekilebilecek gücün pik noktasının üzerine çıkılmamıştır; çünkü model checking olarak davranan sentez algoritması zaten bu durumu engellemektedir; rastsal değişkenlerin dayattığı zorunlu pik noktasının aşımı durumlarında sentez algoritması bu durumu tespit eder ve bir denetleyici sentezlemeyerek bunu bildirir.

4. Sonuç

Bu çalışmada sembolik ayrık kontrol sentezi yöntemi kullanılarak elektrikli araçların şarjı ile güç şebekesine aşırı yüklenilmesinin önlenilmesi yönünde bir modelleme çerçevesi önerilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle ilgili sembolik modelleme yöntemi ve güvenli kontrol algoritması poliçeleri sunulmuş, elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi modelleme algoritması sistematik bir şekilde sembolik olarak inşa edilmiş ve şebekeye aşırı yüklenilmesinin önlenilmesi için gerekli güvenlik adımları verilmiştir. Bir deneysel uygulama ile sentez algoritmasının ürettiği denetleyici, yönetici olarak kullanılmış; sonucunda istenilen özellikler garanti edilmiş ve deneysel olarak modelleme çerçevesi ve ilgili algoritmalar doğrulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, bu ve benzer yönde yapılacak çalışmalar için ilham vericidir; örnek olarak bu çalışma dahilinde bir optimizasyon algoritması ile gelecek durumlar için orta vade planlanmış bir yönetici sentezi üzerinde çalışılır Detaylandırmak gerekirse, zaman içinde oluşmuş kullanıcı verileri ile bir stokastik model oluşturulur ve bu model kullanılarak bir maliyet (cost) fonksiyonunun sembolik sisteme eklenmesi ve bu çalışmada sunulan optimizasyon algoritmasının uygulanması ile daha efektif sonuçlar alınmasını sağlayan bir denetleyicinin sentezlenebilmesi mümkün olur. Veya başka bir çalışmada enerji iletim hatları için bir model geliştirilir. Bu çalışmada sunduğumuz sistematik yaklaşıma benzer bir şekilde güç sağlayıcılar, güç dağıtıcılar, tüketiciler (istenirse yine benzer bir şekilde stokastik bir modele de başvurularak) ve bunların birbirleri ile olan enerji transferleri arasındaki bağıntı (plant) modellenir ve uygun kontrol algoritmalarının uygulanması ile istenilen spesifikasyonları sağlayan bir denetleyicinin güç ağında bir yönetici olarak kullanılması sağlanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Altisen K., Clodic A., Maraninchi F., Rutten E. Using controller synthesis techniques to build property enforcing layers. *Programming Languages and Systems 2003*; 174-188.

Balemi S., Hoffmann G., Gyugyi P., Wong-Toi H., Franklin G. Supervisory control of a rapid thermal multiprocessor. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1993; 38(7): 1040–1059.

Bellman R. Dynamic programming and stochastic control processes. *Information and Control* 1958; 1(3): 228–239.

Berthier N., Marchand H. Deadlock-free discrete controller synthesis for infinite state systems. *IEEE Conference on Decision and Control* 2015; 1000–1007.

- Berthier N., Marchand H. Discrete controller synthesis for infinite state systems with reax. IFAC Proceedings Volumes 2014; 47(2): 46–53.
- Cassandras CG., Lafortune S. Supervisory control. Introduction to Discrete Event Systems 2007; 133–223.
- Delaval G., Rutten E., Marchand H. Integrating discrete controller synthesis into a reactive programming language compiler. Discrete Event Dynamic Systems 2013; 23(4): 385–418.
- Dumitrescu E., Girault A., Marchand H., Rutten E. Multicriteria optimal reconfiguration of fault-tolerant real-time tasks. IFAC Proceedings Volumes 2010; 43(12): 356–363.
- Dutertre B. Spécification et Preuve de Systemes Dynamiques. Ph.D. dissertation 1992.
- Holloway LE., Krogh BH., Giua A. A survey of petri net methods for controlled discrete event systems. Discrete Event Dynamic Systems 1997; 7(2): 151–190.
- Maraninchi F., Rémond Y. Argos: An automaton-based synchronous language. Computer Languages 2001; 27(1): 61–92.
- Marchand H., Borgne ML. On the optimal control of polynomial dynamical systems over z/pz . International Workshop on Discrete Event Systems 1998; 385–390.
- Marchand H., Samaan M. Incremental design of a power transformer station controller using a controller synthesis methodology. IEEE Transactions on Software Engineering 2000; 26(8): 729–741.
- Marchand H., Bournai P., Borgne ML., Guernic PL. Synthesis of discrete-event controllers based on the signal environment. Discrete Event Dynamic System: Theory and Applications 2000; 10(4): 325–346.
- Özbaltan M. Achieving power efficiency in hardware circuits with symbolic discrete control. Ph.D. dissertation 2020.
- Özbaltan M., Berthier N. Exercising symbolic discrete control for designing low-power hardware circuits: an application to clock-gating. IFAC-PapersOnLine 2018; 51(7): 120–126.
- Özbaltan M., Berthier N. A case for symbolic limited optimal discrete control: Energy management in reactive data-flow circuits. IFAC-PapersOnLine 2020; 53(2): 10688–10694.
- Ramadge P., Wonham W. The control of discrete event systems. Proceedings of the IEEE 1989; 81–98.
- Zhao J., Chen YL., Chen Z., Lin F., Wang C., Zhang H. Modeling and control of discrete event systems using finite state machines with variables and their applications in power grids. Systems & Control Letters 2012; 61(1): 212–222.