

MIL-STD-1760'a dayalı uçaklar için güdümlü mühimmatlar için yazılım güncelleme tekniği

Seung-Yeon Lee^{*,1)} . Sung-Kwon Kim¹⁾ . Hyun-A Lee¹⁾ . Dong-Sik Cho¹⁾

¹⁾Savunma Bilim ve Teknoloji Araştırma Enstitüsü,¹Teknoloji Araştırma Bölümü

MIL-STD-1760'a Dayalı Uçak Füzeleri İçin Bir Yazılım Güncelleme Tekniği

Seungyoun Lee^{*,1)} . Sungkwon Kim¹⁾ . Hyunah Lee⁽¹⁾ . Dongsik Cho⁽¹⁾

¹⁾*I. Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, Savunma Geliştirme Ajansı, Kore*

(Alındı 8 Mart 2018 / Revize Edildi 21 Haziran 2018 / Kabul Edildi 24 Ağustos 2018)

ÖZET

Hava araçlarına monte edilen silahların geliştirilmeleri sırasında güvenilirlik ve emniyetlerinin kanıtlanması esastır. Bir güdümlü füze, yer testleri, esir uçuş testleri, detaylı teknik testler ve operasyonel testler gibi çeşitli testler boyunca yüksek güvenilirlik ve emniyete sahip olmalıdır. Bu çeşitli testlerde, güdümlü füzedeki her bir bileşenin yazılımının, algoritmaları veya hataları düzeltmek için kolayca güncellenebilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu bildiride, MIL-STD-1760'da tanımlanan MDTP (toplu veri aktarım protokolü) tabanlı bir yazılım güncelleme tekniği öneriyoruz. Önerilen teknikler aşağıdaki avantajlara sahiptir: Birincisi, bir silahtaki her bir birimin yazılımı, güdümlü bir füzeyi sökmeden bir test ekipmanı aracılığıyla güncellenebilir. İkincisi, MDTP'yi yeniden kullanarak bir yazılım güncellemesi için geliştirme süreleri kısaltılabilir. Üçüncüsü, standartlara dayandığı için yazılımın bakımını kolayca yapabiliriz. Önerilen teknik, geliştirme süreçleri sırasında bir hava aracına monte edilen bir silahın yazılım güncellemesi için etkin bir şekilde kullanılmalıdır.

Anahtar Kelimeler : Uçak Füzesi, Toplu Veri Aktarım Protokolü, Yazılım Güncelleme, Yazılım Güncelleme

1. Giriş

MIL-STD-1760 standardının oluşturulmasından önce geliştirilen uçaklar için silahlar, aşağıdaki standartları kullanarak uçakla arayüz oluşturacak şekilde geliştirilmiştir

Her biri kendi arayüzünü kullanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen bir silahı bir hava aracıyla donatmak için kaçınılmaz olarak hava aracı veya silah arayüzlerinde değişiklikler yapılması gerekmektedir. MIL-STD-1760 mevcut uçak ve silahlar arasındaki bu sistem uyumu sorunlarının üstesinden gelmek ve uçak ve silahlar arasındaki birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon süresini ve maliyetini en aza indirmek için oluşturulmuş bir birlikte çalışma standardıdır^[1,2].

*Sorumlu yazar, E-posta: lee_sy@add.re.kr

Telif Hakkı© Kore Askeri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü

MIL-STD-1760'nin birlikte çalışma standartları kullanılarak silah sistemlerinin bir hava aracına entegrasyonu, hava aracının aynı konektörleri ve aynı silah yönetim sistemini kullanmasını sağlayarak donanım değişiklikleri ve ağırlık artışları gibi ek sorunları önler. Buna ek olarak, açıkça tanımlanmış standart arayüzler ve kanıtlanmış tasarımların yeniden kullanımı, silah sistemlerinin entegrasyonunun tasarım/geliştirme maliyetlerini azaltabilir ve yazılım doğrulaması için gereken maliyeti ve çabayı azaltabilir^[3-6]. Uçaklara monte edilen silahlar, geliştirmeler arasında her bir bileşene uygulanan donanım ve yazılımın performansının, güvenilirliğinin ve kararlılığının analiz edilmesini ve gösterilmesini gerektirir^[7-10]. Özellikle güdümlü mühimmatlar söz konusu olduğunda, yer testleri, uçuş testleri, teknik testler ve operasyonel testler dahil olmak üzere çeşitli testler yoluyla yüksek güvenilirlik ve kararlılık sağlanmalıdır^[11-15]. Bu çeşitli testler sırasında, güdümlü mühimmatın her bir bileşenine uygulanan algoritmadaki hataları veya değişiklikleri düzeltmek için yazılım güncellemeleri gereklidir. Her bir bileşenin yazılımının güdümlü mühimmatın göbek kablosu üzerinden güncellenmesi mümkünse, güdümlü mühimmatın sökülmesi, güncelleme kablosunun bağlanması ve güncelleme sonrasında yazılımın yeniden monte edilip kontrol edilmesi gibi zahmetli bir süreçten kaçınılabilir. MIL-STD-1760'a uygun olarak geliştirilen güdümlü mühimmatlar için, MIL-STD-1760 tarafından sağlanan Kitle Veri Aktarım Protokolü (MDTP), güdümlü mühimmat göbek kablosu aracılığıyla yazılımı güncellemek için kullanılabilir. MDTP, güdümlü mühimmat kontrol ekipmanında yazılımı göbek kablosu üzerinden güncellemek için kullanılırsa, daha önce geliştirilen MDTP olduğu gibi yeniden kullanılabilir, bu da yazılım geliştirmeleri arasında bakımı kolaylaştırır, yorumlanması kolaydır ve geliştirme süresini kısaltır.

Bu makalede, hava taşıtlarına monte edilmiş U Dotan'ın MDTP'ye dayalı uçağa monteli İHA'lar için yazılım güncelleme tekniği. Bu tez aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de MIL-STD-1760'da kullanılan MDTP kısaca gözden geçirilmektedir. Bölüm 3'te, MDTP'ye dayalı güdümlü mühimmatlar için bir bileşen yazılım güncelleme protokolü önerilmekte ve pratik uygulama ve deneylerle doğrulanmaktadır. Son olarak, Bölüm 4'te sonuçlara yer verilmektedir.

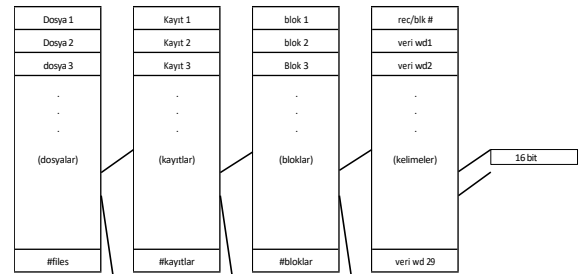
2. Büyük Veri Aktarım Protokolü

2.1 MDTP'ye Genel Bakış

MDTP, uçakların ve depoların çeşitli iletişim araçlarıyla birlikte çalışmasını sağlayan bir protokoldür.

Her türden büyük miktarda verinin iletilmesine izin vermek için geliştirilmiş standart bir iletim protokolüdür. MIL-STD-1760, hava aracı ve depo arasındaki veri iletişimi için MIL-STD-1553B'yi kullanır. Bu nedenle MDTP, hava araçları ve depolar arasında büyük verilerin iletilmesini sağlamak için MIL-STD-1553B'yi temel alır. Özellikle, hava aracı ve silahlar arasında arayüz oluştururken, MDTP endoskop verileri, silah uçuş yolu verileri, dijital haritalar ve GPS başlatma verileri gibi büyük miktarda veriyi iletmek için kullanılır.

Büyük miktarda veriyi güvenilir bir şekilde aktarmak için MDTP Şekil 1'de gösterilen dosya yapısını kullanır. Maksimum dosya sayısı 255'tir ve her dosya en fazla 255 kayıt içerebilir. Her kayıt en fazla 255 blok ve her blok en fazla 29 veri parçası içerebilir. Bu nedenle, MDTP kullanılarak aktarılacak maksimum veri miktarı yaklaşık 960 MB'dir.



Şekil 1. MDTP dosya yapısı

Her dosyayı ve kaydı bölmek için özel bir kural yoktur, ancak iki kısıtlama vardır. İlk olarak, tüm kayıtlar aynı blok boyutuna sahip olmalıdır. Bu, protokolün karmaşıklığını azaltır ve MDTP'nin verimli bir şekilde uygulanmasını sağlar. İkinci olarak, dosya numarası, kayıt numarası ve blok numarasının tümü '1' ile '255' arasında sayılara sahiptir ve '0' kullanılmaz.

2.2 MDTP mesajlarının oluşturulması

MDTP üç standart veri mesajı formatı kullanır. Transfer Kontrol (TC) mesajları hava aracında MDTP'yi başlatan, transfer verilerinin işlenmesini kontrol eden, bütünlük kontrollerini başlatan ve MDTP'yi sonlandıran komutlardan oluşur. Hava aracına bir Transfer Monitörü (TM) mesajı gönderilerek tesisin hava aracı ile MDTP başlatmaya hazır olduğu ve MDTP'yi göndermeye hazır olduğu belirtilir.

MDTP sürecinin ilerleyişini bildirir, verilerin bütünlüğünü doğrular ve MDTP'nin ne zaman sona erdiğini belirtir. Veri Aktarımı (TD) mesajları hava aracı ile depo arasındaki gerçek veri aktarımını gerçekleştirmeye yöneliktir.

TC mesajları Mağaza tarafından alt adres 14 kullanılarak alınır ve Tablo 1'de gösterilen yapıya sahiptir. TC mesajı, her biri öngörülen kurallara göre kombinasyon halinde kullanılması gereken 13 talimattan oluşur.

Tablo 1. TC mesaj formatı

Kelime #	Açıklama	Açıklama
01	Başlık(0x0422)	Her zaman 0x0422 değerini kullanın
02	Talimatlar	Kontrol talimatları seti
03	Alt adres seçimi	ICD'de tanımlanan adres
04	Dosya numarası	Toplam dosya sayısı/geçerli dosya
05	Kayıt numarası	Toplam kayıt sayısı/mevcut kayıt
06	Blok numarası	Toplam bloklar/mevcut bloklar
07	Dosya/kayıt sağlama toplamı	Dosya veya kayıt sağlama toplamı
08	Checksum sözcüğü	TC mesaj sağlama toplamı

Tablo 2. TM mesaj formatı

Kelime #	Açıklama	Açıklama
TM	Başlık(0x0423)	Her zaman 0x0423 değerini kullanın
02	Son rx talimatı	Son alınan kontrol talimat seti
03	Tx modu durumu	İletim modu durumu
04	Kur. sel. alt adres	Şu anda seçili alt adres
05	Cur. dosya numarası	Geçerli dosya numarası
06	Cur. kayıt numarası	Mevcut kayıt numarası
07	Cur. blok numarası	Geçerli blok numarası
08	Kur. dosya/kayıt sağlama toplamı	Geçerli dosya/kayıt sağlama toplamı
09	Checksum sözcüğü	TM mesaj sağlama toplamı

TM mesajları mağaza tarafından alt adres 14 kullanılarak gönderilir ve yapısı Tablo 2'de gösterildiği gibidir. Tx modu durumu, deponun iletiminin durumunu gösterir.

Toplamda 12 durum vardır. Her durum öngörülen kurallara göre kombinasyon halinde kullanılmalıdır.

Bir TD mesajının yapısı Tablo 3'te gösterilmiştir. MIL-STD-1553B toplam 32 kelime verinin iletilmesine izin verir, ancak MIL-STD-1760 sadece maksimum 30 kelime kullanır. Bu nedenle, TD mesajındaki kelime sayısı da 30 ile sınırlıdır ve ilk kelime bir le kodu/blok ile eklenir, bu nedenle iletilen gerçek veri kelimesi sayısı 29'dur. Alt adres 13 kez kullanılır.

Tablo 3. TD mesaj formatı

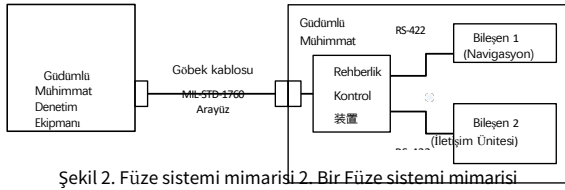
Kelime #	Açıklama	Açıklama
01	#record/#block	Aktarılan kayıt/blok
02	Veri1	Veri 1
03	Veri2	Veri2
...
30	Data29	資料29

Sağlama toplamı tüm dosya için sağlanabilir veya her kayıdın verisine gömülebilir ve onunla birlikte gönderilebilir. Aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir 1) Sağlama toplamı komutu hava aracından bir TC mesajı ile gönderilirse, depo sağlama toplamı hesaplamasını gerçekleştirir. 2) Depo, TC mesajında sağlanan sağlama toplamı sonucunu kendi hesaplamasıyla karşılaştırır. 3) Mağaza, hesaplamanın sonucunu bir TM mesajında bildirmelidir.

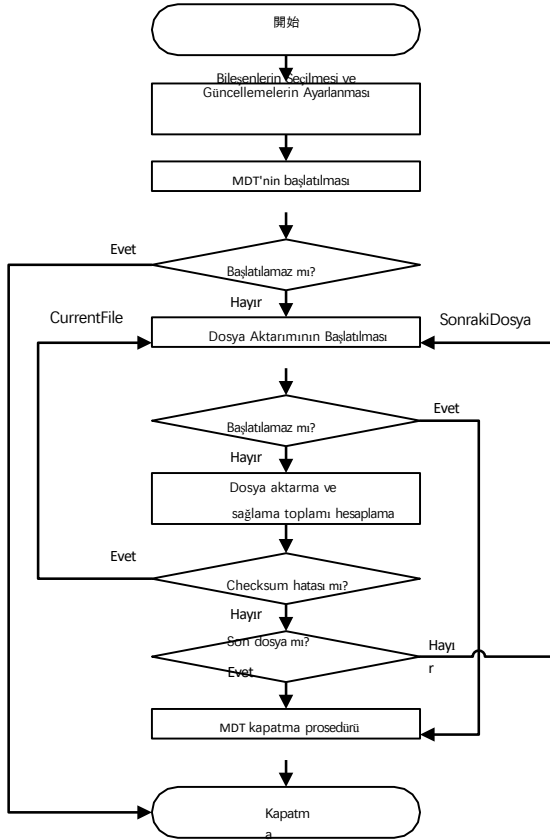
3. Önerilen Yazılım Güncelleme Teknikleri

3.1 GÜDÜMLÜ MÜHİMMAT SİSTEMİ KONFIGÜRASYONU

Güdümlü mühimmat test ekipmanından gelen göbek kablosu aracılığıyla güdümlü mühimmat bileşenlerine yazılım güncellemeleri yapma tekniğini göstermek için, güdümlü mühimmat test ekipmanı, iki bileşen ve bir güdümlü kontrol ünitesinden oluşan bir güdümlü mühimmat sistem şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. 2. Güdümlü mühimmat test ekipmanı, MIL-STD-1760 standart arayüzü ile güdüm kontrol ünitesine bağlanır ve dijital iletişim için MIL-STD-1760 standart arayüzü tarafından tanımlanan MIL-STD-1553B'yi kullanır. Çoğu güdümlü mühimmatın, güdüm kontrol ünitesi etrafındaki bileşenlerin merkezi bir bağlantısına sahip olduğu ve RS-422 iletişimi yoluyla bağlandığı varsayılmaktadır.



Şekil 2. Füze sistemi mimarisi 2. Bir Füze sistemi mimarisi



Şekil 3. Yazılım güncelleme süreci

3.2 Bir yazılım otomatik güncelleme programının uygulanması için algoritma

Güdümlü mühimmat test sisteminde güdümlü mühimmat bileşeninin yazılımını güncellemek için MDTP kullanılırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır. İlk olarak, güdümlü mühimmat test ekipmanı, güdüm sisteminin hangi bileşenlerin yazılımının güncelleneceğini seçmesine izin vermemelidir. Güdüm sistemi daha sonra mühimmat kontrolöründen aldığı TC ve TD mesajlarını RS-422 haberleşmesi yoluyla her bir bileşene özgü mesajlar şeklinde iletmelidir. Ayrıca bileşenden RS-422 mesajlarını da almalıdır

Olay yerinden alınan mesaj bir TM mesajı şeklinde güdümlü mühimmat kontrolörüne iletilmelidir. Bu yöntem yazılım güncellemeleri için mevcut MDTP'lerin yeniden kullanılmasını sağlar. İkinci olarak, yazılım dosyalarının boyutu bayt cinsinden düzenlenir, ancak MDTP yalnızca kelime bloklarını iletebilir. Bu nedenle, güdümlü füzenin bileşenleri güncellenecek dosyanın boyutu hakkında bilgilendirilmelidir. Üçüncü olarak, veri iletimi kontrol ünitesi ile bileşenler arasındaki iletişim döngüsü dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Veri alımı ve veri iletimi arasındaki hata sayısının kontrol edilebilmesi arzu edilir, böylece savaş başlığı denetim ekipmanı gerektiğinde veri iletim hızını kontrol edebilir. Bu noktalar göz önünde bulundurularak önerilen yazılım güncelleme prosedürü Şekil 3'te gösterilmektedir.

3.2.1 Bileşen seçimi ve güncelleme ayarları

Güdümlü mühimmat test ekipmanındaki bir bileşenin yazılımını güncelleme prosedürü Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Yazılım güncelleme için mesaj dizileri

Sıra	Kimden	için	Mesaj
1	Denetim Ekipmanı	Rehberlik	Bileşen seçimi
2	Rehberlik Sistemi	Bileşenler	Yazılım Güncelleme Ayarları
3	Bileşenler	Rehberlik Sistemi	Yazılım Güncelleme Kurulumu
4	Rehberlik Sistemi	Denetim Ekipmanı	Bileşen Modu Ayarları

Kontrolör, harp başlığındaki bileşenleri seçmek için güdüm sistemine bir mesaj göndermelidir. Gönderilecek dosyanın boyutu bayt cinsinden hesaplanır ve 29 numaralı alt adrese gönderilir. Yazılım için bir kontrol mesajı Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Yazılım güncelleme için bir kontrol mesajı

Kelime #	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0xF100	Mesaj Kimliği
2	Talimatlar	0x0010 0x0020	Bileşen1 veya Bileşen2 güncellemelerinin ayarlanması
3	Dosya Boyutu	--	Güncellenecek dosyanın boyutu (bayt cinsinden)
4		-	

Güdümlü kontrolörü bileşen ayar bilgisini aldığı anda, bileşenin kontrol komutunu kullanarak yazılım güncelleme modunu gönderir ve güdümlü mühimmat denetim ekipmanının Tablo 6'da gösterildiği gibi yazılım güncelleme moduna ayarlanan değeri kontrol etmesini sağlar.

Tablo 6. Yazılım güncellemesi için bir izleme mesajı

Kelime #	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0xF100	Mesaj Kimliği
2	Talimat İadesi	0x0010 0x0020	Bileşen1 veya Bileşen2 Güncellemesini Ayarla
3	Yazılım Güncelleme Seti	0x0000	Güncelleme Setinde "I"
3	Chksum Hatalarının Sayısı	0x0000	Sağlama toplamı hata sayısı
4	Kayıp Veri Sayısı	0x0000	Eksik veri sayısı

3.2.2 MDT Başlatma

Dosya aktarımı için MDTP, MDTP'ye göre bileşenin indirme modunu etkinleştirir. Bu adım için prosedür aşağıdaki gibidir

- 1) 'İndirme modunu seç' komutu, Tablo 7'de gösterildiği gibi yönlendirme sistemi aracılığıyla bileşene gönderilir.

Tablo 7. İndirme modu seçme komutu

Kelime #	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0422	TC mesajı sabit değeri
2	Talimatlar	0x4000	indirme modunu seçin
3	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlandı
4	Dosya Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
6	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TC Mesaj Sağlama Toplamı

- 2) Yukarıdaki komutu aldıktan sonra, bileşen dosyayı indirmeye hazırlanır, 'İndirme Modunda' seçeneğini

ve Tablo 8'in içeriğini güdümlü sistemi aracılığıyla savaş başlığı denetleyicisine iletir.

Tablo 8. İndirme modu seçme komutu

Kelime #	Açıklama	Değer	备注
1	Başlık	0x0423	TM mesajı sabit değeri
2	Son Rx Talimatı	0x4000	Son TC alındı
3	Tx Modu Durumu	0x8000	İndirme Modunda
4	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Dosya Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
6	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
9	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TM Mesaj Sağlama Toplamı

- 3) Araç, bileşenin indirme geçişini onaylamak için en az 20 ms bekler ve geçiş tamamlanmamışsa işlemi bir kez tekrarlar.
- 4) Bileşenin MDT dönüşümü onaylanmazsa, araç yazılım güncelleme prosedürünü sonlandırır.

3.2.3 Dosya Aktarımını Başlat

Yazılım güncellemesi için dosyaları aktarmak üzere Aktarımı Başlat komutunu göndermeye ve almaya hazır olduğunu doğrulayın. Bu adım için prosedür aşağıdaki gibidir

- 1) Güdümlü mühimmat inceleme ekipmanı, indüksiyon tankı sonlandırma cihazı aracılığıyla bileşene 'Yeni dosya başlat' komutunu gönderir. Tablo 9'da 4. kelimedeki Nf aktarılabilecek dosya sayısını, Sf ise mevcut dosya numarasını ifade eder. Örneğin, yalnızca bir dosya aktarılabilecekse, bu değer 0x0101 olacaktır. 5. kelimedeki Nr aktarılabilecek kayıt sayısıdır. Kelime 6'da, Nb aktarılabilecek blok sayısıdır.
- 2) Bileşen yukarıdaki komutu aldığı anda, dinlemeye geçer ve Tablo 10'da gösterildiği gibi 'Transfer Enabled' ayarını yapar.
- 3) Güdümlü füze denetim ekipmanı 20 ms'den fazla bekledikten sonra güdümlü füze terminal cihazından mesaj alarak bileşenin dosyayı almaya hazır olup olmadığını kontrol eder ve onaylanmazsa yukarıdaki işlem bir kez tekrarlanır.

Tablo 9. Yeni dosya başlat

Kelime#	İçindekiler	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0422	TC mesajı sabit değeri
2	Talimatlar	0x5000	Yeni dosya başlat
3	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
4	Dosya Numarası	0xNfSf	0 olarak ayarlayın
5	Kayıt Numarası	0xNr01	0 olarak ayarlayın
6	Blok Numarası	0xNb01	0 olarak ayarlayın
7	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TC mesaj sağlama toplamı

edilerek hesaplanır.

Tablo 10. Aktarım etkin

Kelime#	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0423	TM mesajı sabit değeri
2	Son Rx Talimatı	0x5000	Son TC alındı
3	Tx Modu Durumu	0xA000	Transfer Etkin
4	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Dosya Numarası	0xNfSf	0 olarak ayarlayın
6	Kayıt Numarası	0xNr00	0 olarak ayarlayın
7	Blok Numarası	0xNb00	0 olarak ayarlayın
8	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
9	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TM Mesaj Sağlama Toplamı

- 4) Güdümlü Mühimmat Test Aracı, yalnızca bileşen dosyayı almaya hazırsa bir sonraki adıma geçecektir, aksi takdirde MDT sonlandırma prosedürünü gerçekleştirecektir.

3.2.4 Dosya Aktarımı

Dosya Aktarımı adımında aktarılabilecek dosyanın Kayıt ve Bloğu aktarılır.

Aktarılabilecek dosyanın Kayıt ve Bloğu aktarılır ve işleme prosedürü aşağıdaki gibidir.

- 1) Güdümlü mühimmat muayene ekipmanı, TD mesaj formatına göre kayıt ve bloklardan oluşan bir dosyayı Tablo 11'de gösterilen formatta sırayla iletir. TD mesajının 1. kelimesi ID olarak iletilecek Kayıt ve Bloktan oluşur. Kelime 30 blok sağlama toplamını atar ve blok sağlama toplamı kelime 1 ila 29 dahil

Her TD mesajı için sağlama toplamını bu şekilde hesaplayarak, aktarım kutusu aracılığıyla veri iletimleri arasındaki blok hata oranını hesaplayabilirsiniz. TD mesajları gönderilirken, gönderilen son TD mesajı, blokları eşit boyutta yapmak için kalan veri kelimelerini '0' ile doldurmalıdır.

Tablo 11. TD mesaj formatı

Kelime #	Açıklama	Açıklama
01	#record/#block	Aktarılan kayıt/blok
02	Veri 1	Veri 1
03	Veri 2	Veri 2
...
29	Veri 28	Veri 28
30	Blok Sağlama Toplamı	Blok Sağlama Toplamı

- 2) Bileşen, her TD mesajı alındığında bir sağlama toplamı hesaplar, bunu alınan her TD mesajının sağlama toplamıyla karşılaştırır, hata durumunda sağlama toplamı hatalarının sayısını sayar ve saklar ve alınmayan mesaj kimliklerinin sayısını sayar ve saklar.

3.2.5 Sağlama toplamlarının hesaplanması

Her bir dosya için dahili Kayıt ve Blok aktarıldıktan sonra, Test Cihazı aktarılan dosyanın geçerliliğini aşağıdaki prosedürle doğrular.

- 1) Test Cihazı, Tablo 12'de gösterildiği gibi UAS'ye 'Dosya Sağlama Toplamını Hesapla' komutunu gönderir.

Tablo 12. Dosya sağlama toplamını hesaplama

Kelime #	内容	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0422	TC mesajı sabit değeri
2	Talimatlar	0x4080	Dosya Sağlama Toplamını Hesaplama
3	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
4	Dosya Numarası	0x01Sf	0 olarak ayarlayın
5	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
6	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TC Mesaj Sağlama Toplamı

Tablo 12'de Sf geçerli dosya numarası anlamına gelir. Word 7, bir bileşen olarak sağlanan tüm dosyanın sağlama toplamı anlamına gelir ve TD mesajı başına sağlama toplamı zaten gönderildiği için kullanılmaz.

- 2) Seçilen bileşen yukarıdaki komutu aldığı anda sağlama toplamını hesaplama sürecindeyse, 'Sağlama Toplamı Hesaplaması Devam Ediyor' ayarını yapar ve Tablo 13'te gösterildiği gibi sağlama toplamını hesaplar.

Tablo 13. Checksum hesaplaması devam ediyor

Kelime#	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0423	TM mesajı sabit değeri
2	Son Rx Talimatı	0x4080	Son TC alındı
3	Tx Modu Durumu	0x8200	Checksum hesaplaması devam ediyor
4	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Dosya Numarası	0xNfSf	0 olarak ayarlayın
6	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
9	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TM mesaj sağlama toplamı

Tablo 13'te, 5. kelimedeki Nf toplam dosya sayısını ve Sf geçerli dosya numarasını temsil eder.

- 3) Bileşen sağlama toplamı hesaplamasını tamamladığında, Tablo 14'te gösterildiği gibi sağlama toplamı sonucunu word 3'e gönderir. Sağlama toplamı sonucu iyiye 0x8100, kötüye 0x8180 değerini gönderir.
- 4) Güdümlü füze test ekipmanı 20 msn'den fazla bekler ve bileşenden sağlama toplamı hesaplamasının tamamlanıp tamamlanmadığını kontrol eder. Bileşen sağlama toplamı hesaplamasını 800 msn içinde tamamlamalıdır ve test cihazı sağlama toplamı hesaplamasını 1000 msn'ye kadar kontrol eder. Bu süre içinde tamamlanmazsa, kötü sağlama toplamı olarak değerlendirilir.
- 5) Dosya aktarımı tamamlandıktan sonra sağlama toplamında bir hata oluşursa, dosya yeniden iletilir. Bu sırada, Tablo 6'da gösterildiği gibi sağlama toplamı hatalarının ve eksik verilerin sayısını kontrol edin ve veri aktarım hızını buna göre ayarlayın.
- 6) Dosya aktarımı tamamlandıktan sonra sağlama toplamı normalse, varsa bir sonraki dosya aktarılır ve tüm dosyalar aktarıldığında son prosedür gerçekleştirilir.

Tablo 14. Checksum hesaplaması devam ediyor

Kelime#	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0423	TM mesajı sabit değeri
2	Son Rx Talimatı	0x4080	Son TC alındı
3	Tx Modu Durumu	0x8100 0x8180	Checksum hesaplaması, başarılı veya başarısız
4	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Dosya Numarası	0xNfSf	0 olarak ayarlayın
6	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
9	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TM mesaj sağlama toplamı

3.2.6 MDT'den çıkın

- 1) Test cihazı, Tablo 15'te gösterildiği gibi yönlendirme sistemi aracılığıyla bileşene 'Aktarım Modundan Çık' komutunu gönderir.

Tablo 15. Aktarım modundan çıkış

Kelime#	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0422	TC mesajı sabit değeri
2	Talimatlar	0x0010	Aktarım Modundan Çık
3	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
4	Dosya Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
6	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TC Mesaj Sağlama Toplamı

- 2) Seçilen bileşen yukarıdaki komutu aldığı anda, 'Çıkış devam ediyor' ayarını yapar ve Tablo 16'da gösterildiği gibi 0x0020 iletir ve ardından alınan yazılım dosyasını kullanarak güncellemeyi gerçekleştirir. Yazılım güncellemesi daha sonra normal şekilde devam ederse, Tablo 16'nın 3. kelimesi 0x0000 olarak ayarlanır ve iletilir.
- 3) Denetim ekipmanı 20 msn'den fazla bekledikten sonra bileşenin MDTP'sinin sonlandırılıp sonlandırılmadığını kontrol eder ve onaylanmazsa yukarıdaki işlemi bir kez tekrarlar.

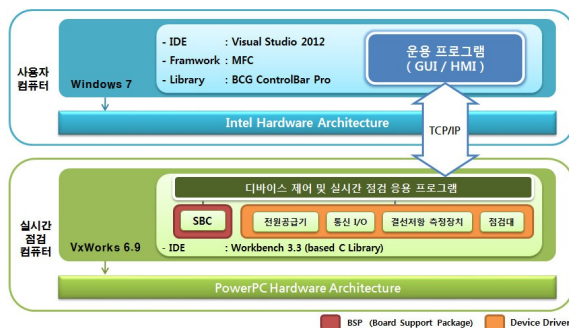
- 4) Bileşenin MDTP sonlandırması iki kez onaylanmazsa, güdümlü mühimmat denetleyicisi MDTP aktarım prosedürünü iptal eder.
- 5) MDTP normal şekilde sonlandırıldıysa, yazılım güncellemelerini kontrol etmek için savaş başlığına yeniden güç verin.

Tablo 16. Checksum hesaplaması devam ediyor

Kelime #	Açıklama	Değer	Açıklamalar
1	Başlık	0x0423	TM mesajı sabit değeri
2	Son Rx Talimatı	0x0010	Son TC alındı
3	Tx Modu Durumu	0x0020 0x0000	Çıkış devam ediyor veya çıktı
4	Alt adres	0x0000	0 olarak ayarlayın
5	Dosya Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
6	Kayıt Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
7	Blok Numarası	0x0000	0 olarak ayarlayın
8	Dosya/Kayıt Sağlama Toplamı	0x0000	0 olarak ayarlayın
9	Mesaj Sağlama Toplamı	Karşılık gelen değer	TM mesaj sağlama toplamı

3.3 Yazılım Uygulaması

Denetim ekibinani temel olarak bir kullanıcı bilgisayarını ve bir gerçek zamanlı denetim bilgisayarından oluşur ve yazılım mimarisi Şekil 4'te gösterilmiştir ^[3]. Yukarıdaki Şekil 3'te önerilen algoritma, denetim ekibininin kullanıcı bilgisayarında uygulanmıştır. Kullanıcı bilgisayarının işletim sistemi Window 7 Pro kullanıcı bilgisayarının işletim sistemi olarak kullanılmış ve yazılım entegre geliştirme ortamı MS Visual Studio 2012 uygulanarak geliştirilmiştir.



Şekil 4. Test ekipmanı için yazılım mimarisi

Uygulanan kullanıcı arayüzü Şekil 5'te gösterilmektedir. Burada, dosya aktarım hızı 200 Hz, 100 Hz ve 50 Hz olarak seçilebilir ve böylece aktarım hızına göre test yapılabilir.



Şekil 5. Yazılım güncellemesi için grafik kullanıcı arayüzü

3.4 Deneysel sonuçlar

Önerilen yazılım güncelleme tekniğini doğrulamak için, yazılım güncelleme deneyleri Şekil 2'de gösterilen konfigürasyona sahip navigasyon ve iletişim birimleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yazılım güncelleme tekniğini doğrulamak için, yazılım güncelleme deneyleri Şekil 2'de gösterildiği gibi aynı konfigürasyona sahip navigasyon ve iletişim birimleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Dosya transferinin kelime cinsinden hesaplandığına dikkat etmek önemlidir, bu nedenle '0' ile doldurulmuş dosyayı göndermek mümkündür. Örneğin, yazılım güncellemesi için dosya boyutu 1.757.785 bayt ise, bu da yuvarlandığında 878.893 kelimeye eşdeğerdir ve TD mesajı başına 28 kelime gönderilirse, gönderilen toplam TD mesajı sayısı 31.390, toplam kayıt sayısı 124 ve toplam blok sayısı 31390'dır. Bu nedenle, son bloktaki 26,5 kelime '0' ile doldurulmalı ve iletilmelidir. Her bir dosya aktarım döngüsü için deneysel sonuçlar Tablo 17'de gösterilmiştir. Navigasyon cihazı için 50 Hz'de 1,8 MB'lık bir dosya ve iletişim cihazı için 100 Hz'de 2,0 MB'lık bir dosya aktarımların yazılım güncellemesinin normal şekilde gerçekleştirildiği teyit edilmiştir. Testler arasında eksik mesaj ve sağlama toplamı hatalarının oranını azaltmak için her bir bileşen için mesaj alım sürecinde iyileştirmeler yapılmıştır ve bu çalışmalar devam edecektir.

Tablo 17. Test sonuçları

Kategori	Dönem	Eksik mesajlar	Checksum hataları
Navigasyon	200 Hz	24.2	0
	100 Hz		0
	50 Hz	0	0
İletişim cihazları	200 Hz		3
	100 Hz	0	0
	50 Hz	0	0

4. Sonuç

Güvenilirlik ve emniyet, hava taşıtlarında kullanılacak silahların geliştirilmesinde çok önemlidir. Özellikle güdümlü mühimmatlar söz konusu olduğunda, çeşitli testlerle yüksek güvenilirlik ve kararlılığın teyit edilmesi esastır ve güdümlü mühimmatların dahili bileşenlerinin yazılım güncellemeleri bu süreçte çok önemlidir. Bu makalede, güdümlü mühimmatlar için, hava araçları ve silahların kilitlenmesi için standart bir kilitleme spesifikasyonu olan MIL-STD-1760'ın MDTP'sine dayanan bir yazılım güncelleme tekniği önerilmektedir. Önerilen teknik, güdümlü mühimmatın göbek bağı aracılığıyla hızlı ve kolay yazılım güncellemesine ve daha önce geliştirilen MDTP'nin yeniden kullanılmasına olanak tanıyarak geliştirme süresini kısaltmakta ve bakımı kolaylaştırmaktadır. Buna ek olarak, veri iletimleri arasında sağlama toplamı hata oranını ve eksik mesajları kontrol etmek mümkündür. Önerilen yazılım güncelleme tekniği pratik uygulama ve deneylerle doğrulanmıştır. Bu tekniğin gelecekteki uçağa monteli silahların geliştirilmesinde yazılım güncellemeleri için faydalı olabileceğine inanılmaktadır.

Referanslar

- [1] MIL-STD-1760E, "Uçak/Depo Elektriksel Ara Bağlantı Sistemi için Arayüz Standardı," ABD Savunma Bakanlığı, 2007.
- [2] MIL-HDBK-1760A, "Uçak/Depo Elektriksel Ara Bağlantı Sistemleri," ABD Savunma Bakanlığı, 2004.
- [3] S. Y. Lee, S. K. Kim, H. A. Lee ve D. S. Cho, "A Software Design for a Mission Store Assembly Test Set based on MIL-STD-1760," KIMST Autumn Conference Proceedings, pp. 381~382, 2017.
- [4] H. A. Lee, S. Y. Lee, D. S. Cho ve S. K. Kim, "MIL-STD-1760'a dayalı bir Sistem Entegrasyon Ortamı Oluşturma," KIMST Sonbahar Konferansı Bildirileri, s. 383~384, 2017.
- [5] J. S. Huh, Y. M. Lim ve Y. G. Kim, "Mağaza Yönetim Bilgisayarını Doğrulamak için Silah Simülörünün Geliştirilmesi," KIMST Yıllık Konferans Bildirileri, s. 861~862, 2018.
- [6] J. S. Kang, S. M. Cho, and J. H. Cho, "Study for MIL-STD-1760'a dayalı Görev Depolarının Geliştirilmesi," Kore Havacılık ve Uzay Bilimleri Derneği Sonbahar Konferansı Bildirileri, s. 968~971, 2014.
- [7] M. J. Squair "Safety, Software Architecture and MIL-STD-1760," Proc. of the 11th Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software, Vol. 69, pp. 93-112, 2006.
- [8] S. Y. Lee, S. K. Kim, H. A. Lee ve D. S. Cho, "Safety Analysis of MIL-STD-1760 And Development Consideration," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 2013~2014, 2018.
- [9] B. W. Kim, J. J. Kyun ve M. S. Kim, "A Study of Store Management System and Interface Safety based on MIL-STD-1760," KIMST Autumn Conference Proceedings, pp. 413~417, 2017.
- [10] Keith A. Rigby, "Aircraft Systems Integration of Air-launched Weapons," John Wiley and Sons, 2013.
- [11] H. S. Yeom, J. H. Oh ve D. Y. Sung, "A study on Technique of Development Test by an Aircraft Captive Flight Test in Weapon System," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 37, pp. 1010~1016, 2009.
- [12] S. J. Lee, J. H. Lee, ve J. Y. Hong, "Uçak ve Güdümlü Füze için Test ve Değerlendirme Maliyeti(1)," Defence & Technology, Vol. 339, No. 05, pp. 32~45, 2007.
- [13] S. J. Lee, J. H. Lee ve J. Y. Hong, "Test and Evaluation Cost for the Aircraft and Guided Missile(2)," Defence & Technology, Vol. 340, No. 06, pp. 34~49, 2007.
- [14] S. J. Lee, J. H. Lee ve J. Y. Hong, "Test and Evaluation Cost for the Aircraft and Guided Missile(3)," Defence & Technology, Vol. 341, No. 07, pp. 34~49, 2007.
- [15] H. K. Cho ve B. S. Kim, "Uçak/Depo Uyumluluğu için Test ve Değerlendirme Standardı Üzerine Bir Çalışma," Kore Havacılık ve Uzay Bilimleri Derneği Sonbahar Konferansı Bildirileri, pp. 1256~1259, 2012.