BÖLÜM 23

ISBN: 978-625-6517-82-0

GÖRÜNÜR IŞIK İLE KABLOSUZ HABERLEŞME

Dr. Öğr. Üyesi Arif BAŞGÜMÜŞ[1]

Buğra BAYRAKÇI[2]

Doç. Dr. Mustafa NAMDAR[3]

Ömer DEMİRCİ[4]

GİRİŞ

Görünür ışık haberleşmesi (visible light communication, VLC) birçok araştırmacının ilgisini çekmekte ve geleceğin iletişim sistemlerinin önemli bir bileşeni olacağı beklenmektedir [1-2]. Görünür ışık spektrumundaki frekansları kullanan bir iletişim teknolojisi olan VLC, çok büyük miktarda lisanssız bant genişliğine sahip olması ve görünür ışık sinyallerinin zayıf penetrasyonu nedeniyle yüksek güvenlik ve nispeten daha düşük güç tüketimi sunar. Aydınlatma ve iletişim amaçlı kullanılmaktadır. VLC, verici olarak, ışık yayan diyotlar (light-emitting diodes, LED) gibi kolayca bulunabilen ışık kaynakları ve alıcı olarak foto-dedektörler (photo-detector, PD) ile donatılmıştır. VLC sistemlerinde veri iletimi, verici tarafında yoğunluk modülasyonu ve alıcı tarafta da doğrudan algılama yoluyla sağlanır. Diğer yüksek frekanslı iletişim teknolojilerinde (terahertz, milimetre dalga, vs.) sinyal yayılımı kısa menzillidir ve engellere karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, VLC'de başarılı sinyal iletimi, verici ve alıcı arasında doğrudan bir görüş hattı (line of sight, LoS) yolu gerektirir. Görünür ışık sinyallerinin doğal özellikleri, VLC ve radyo frekansı (radio frequency, RF) iletişim sistemlerinin karşılıklı olarak yararlı bir şekilde birlikte

[1] Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-0611-3220
[2] Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0002-3794-8930
[3] Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-3522-4608
[4] Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0009-0008-4330-8263

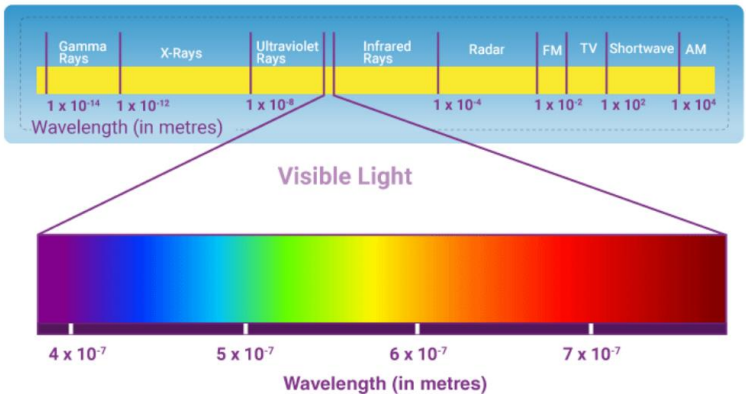
var olmasını teşvik eder. Bu nedenle, VLC ve RF iletişim sistemlerinin bir arada bulunması, yüksek hızlı veri iletimi ile oluşturulabilecek çeşitli ortam bağlantı kombinasyonlarına izin verir. Ayrıca, VLC'deki potansiyel bağlantı sorunlarına (blokajlardan ve kullanıcıların ölü bölgede bulunmasından kaynaklanan) umut verici bir çözüm sunar [3-4].

Araç-araç haberleşmesi için kullanılan vehicular VLC (V-VLC) ise, trafiği, kazaları azaltmak ve seyahat eden insanları güvende tutmak için yoldaki araçların birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan yeni bir teknolojidir. Araç-araç haberleşmesi protokolünün temel amacı akıllı ulaşım sistemleri için verimli bir iletişim sistemi oluşturmaktır. Teknolojik ilerlemeler, otomotiv endüstrisini, gerçek zamanlı bilgi paylaşabilen ve birbirlerini kazalardan koruyabilen, otonom araçlar geliştirmeye yöneltmiştir.

Bu çalışmada, alıcı ve vericisi STM32F103C8T6 mikrodenetleyicisi olan bir sistemin, birbirleriyle görünür ışık aracılığıyla kablosuz olarak haberleşmesi aktarılmaktadır. Sistemdeki veriler I2C (Inter-Integrated Circuit) ve LCD (liquid crystal display) tarafından alınmakta ve okunmaktadır. Mikrodenetleyiciler arasındaki seri haberleşme UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) protokolü ile sağlanmaktadır. Vericinin Tx pini aracılığıyla iletilen ve LED'e aktarılan veri, görünür ışık vasıtasıyla alıcı devredeki fotodiyota gönderilmekte ve alıcıdaki mikrodenetleyici bu veriyi okuyup I2C protokolüyle LCD'ye aktarmaktadır.

SİSTEM MODELİ

Şekil 1'de görünür ışık frekans spektrumuna yer verilmiştir.



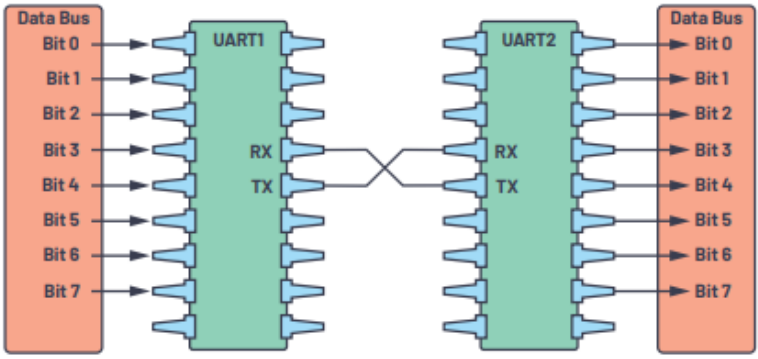
Şekil 1. Görünür ışık spektrumu [5]

ISBN: 978-625-6517-82-0

UART PROTOKOLÜ

Her UART cihazının iki sinyali şu şekilde adlandırılır: verici (Tx) ve alıcı (Rx). Her cihaz için bir verici ve alıcı hattının ana hedefi, iletişim için seri verileri iletmek ve almaktır. Verici UART, verileri paralel biçimde gönderen bir kontrol veri yoluna bağlıdır. Veriler iletim hattı (kablo) üzerinden seri olarak alıcı UART'a iletilmektedir. Burada, seri veriler alıcı cihaz için paralele dönüştürülmektedir. UART hatları, bir veriyi diğerine iletmek ve almak için iletişim ortamı olarak hizmet eder. Bir UART cihazı, iletme veya alma için belirlenmiş bir gönderme ve alma pinine sahiptir. UART ve çoğu seri iletişim için, baud hızının hem verici hem de alıcı cihazda aynı olarak ayarlanması gerekmektedir. Baud hızı, bilginin bir iletişim kanalına aktarılma hızıdır. Seri bağlantı noktası açısından değerlendirildiğinde, ayarlanan baud hızı, saniye başına aktarılan maksimum bit sayısı olarak ifade edilmektedir [6].

UART arayüzü, verici ve alıcı cihazları senkronize etmek için bir saat sinyali kullanmaz; verileri asenkron olarak iletir. Alıcı, gelen verileri örneklemek için dahili saat sinyalini kullanırken, verici, kendi saat sinyaline dayalı olarak bir bit akışı üretir. Senkronizasyon noktası, her iki cihazda da aynı baud hızına sahip olarak yönetilir. Senkronizasyon işleminin yapılmaması, veri işleme sırasında tutarsızlıklara neden olabilmekte, veri gönderme ve alma zamanlamasını etkileyebilmektedir. Şekil 2'de UART protokolünün topolojisi gösterilmiştir.



Şekil 2.0 UART Protokolü [7]

I2C PROTOKOLÜ

I2C protokolü, düşük hızlı cihazları bağlamak için kullanılan bir seri iletişim protokolüdür. EEPROM'lar (Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory), mikrodenetleyiciler, A/D (analog-to-digital) ve D/A (digital-to-analog) dönüştürücüler için kullanılan giriş/çıkış arayüzleridir. Philips semiconductor tarafından çipler arası iletişim için geliştirilmiştir. IC üreticilerinin çoğunda I2C protokolü kullanılmaktadır. Tek bir master'dan birden fazla slave bağlayabileceğiniz ve kontrol edebileceğiniz bir master-slave iletişimini tanımlamaktadır. Burada, her slave cihazın belirli bir adresi vardır. Sürümlere göre 100 Kbps, 400 Kbps, 1 Mbps ve 3,4 Mbps'ye kadar değişen farklı veri hızlarını destekler. SPI (Serial Peripheral Interface) gibi senkron bir iletişimdir. Veri iletişimi için SDA (Serial Data) ve SCL (Serial Clock) adı verilen yalnızca 2 çift yönlü open-drain hattı kullanır [8]. Veri aktarımı SDA pini üzerinden gerçekleşir. Saat sinyali ise SCL üzerinden taşınır. Çalışmada I2C protokolünün desteklenmesi için hazır bir arayüz kodu kullanılmıştır [9]. Aşağıda, örnek olarak verilen bu kod satırlarında, ilgili fonksiyon, LCD'nin bağlı olduğu cihaza komut gönderecektir. 4 bit LCD modu kullanıldığından, komut iki parça halinde gönderilir.

```
void lcd_send_cmd(char cmd)
{
  char data_u, data_l;
    uint8_t data_t[4];

    data_u = (cmd & 0xF0);
    data_l = ((cmd << 4) & 0xF0);

    data_t[0] = data_u | 0x0C;  //en=1, rs=0
    data_t[1] = data_u | 0x08;  //en=0, rs=0
    data_t[2] = data_l | 0x0C;  //en=1, rs=0
    data_t[3] = data_l | 0x08;  //en=0, rs=0

    HAL_I2C_Master_Transmit (&hi2c1, SLAVE_ADDRESS_LCD,(uint8_t *) data_t, 4, 10);
}
```

Algoritma 1. LCD'nin bağlı olduğu cihaza komut göndermek için kullanılan fonksiyon

Aşağıdaki fonksiyon ise LCD'ye string göndermek için kullanılmıştır.

```
void lcd_send_string (char *str)
{
    while (*str) lcd_send_data (*str++);
}
```

Algoritma 2. LCD'ye string göndermek için kullanılan fonksiyon

ISBN: 978-625-6517-82-0

Burada I2C'nin slave adresi önemlidir. Temel olarak I2C'nin slave adresi 0x27 şeklinde tanımlanmıştır. Önerilen sistemi yazılımla entegre etmek amacıyla, slave adresi 1 bit sola kaydırılır. Dolayısıyla, 0x27 hexadecimal sayısı 1 bit sola kaydırıldığında 0x4E hexadecimal sayısı olmaktadır.

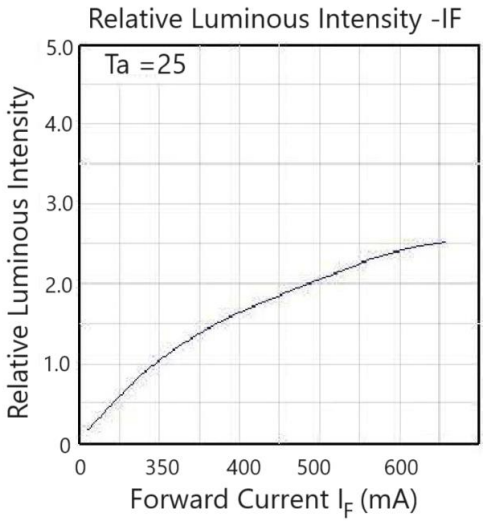
LED (Tx)

Power-LED ile fotodiyot yardımıyla kablosuz görünür ışık haberleşmesinin gerçeklenmesi mümkündür. Araçlarda LED dizileri, yüksek güçlü farlar, sis farları, arka lambalar için tasarlanırken, dönüş sinyallerinde ise tercihen düşük veya orta güçlü tek bir LED kullanılır. Yüksek güçlü araç LED'i 700 mA çeker ve bu LED'in 200 lm'lik tipik ışık akısı vardır. Daha yüksek akım gereksinimlerinin LED'lerin anahtarlama kapasitesini sınırladığı bilinmektedir. İlave olarak, araçlarda kullanılan beyaz LED aydınlatma, genellikle 3 dB modülasyon bant genişliğine sahip fosfor bazlıdır. Fosfor bazlı beyaz LED'ler mavi LED bileşenlerinden oluşur. Fosfor tabakası LED'in mavi bileşeninin 20 MHz'e kadar modüle ederken, bu bant genişliği, yavaş fosfor gevşeme süresi olarak bilinir. Modülasyonun bir diğer sınırlaması da araç LED'inin bant genişliğidir. Bu nedenle VLC için daha yüksek LED modülasyon frekanslarının uygun olduğu değerlendirilmektedir [10]. w açısal frekansında modüle edilmiş bir LED ışık kaynağının ışık yoğunluğu şu şekilde hesaplanır:

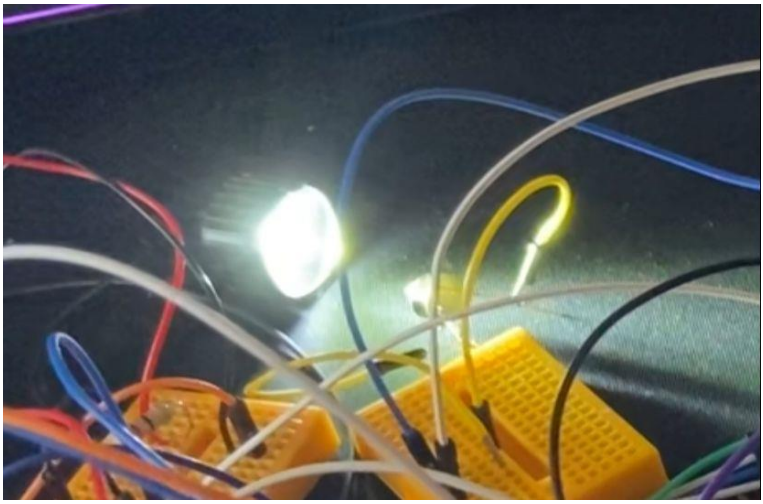
$$I(w) = \frac{I(0)}{\sqrt{1+(wT_{eff})}} \quad (1)$$

Burada I(0) sıfır modülasyon frekansındaki ışık yoğunluğudur, T_{eff} ise etkin taşıyıcı ömrüdür. w arttıkça yoğunluk azaldığı için w'nin minimum yol aydınlatma gereksinimlerinin üst sınırında olduğu sonucuna varılabilir. Bu nedenle, araç LED'lerinde 3 dB modülasyon bant genişliği için, daha yüksek modülasyon frekanslarından kaçınmanın önemli olduğu değerlendirilmektedir.

VLC ile gerçeklenen kablosuz haberleşme çalışmasında Şekil 3'te akım-lümen grafiği verilen, 3 W beyaz LED kullanılmıştır. İlave olarak fotodiyota giden ışının daha iyi algılanabilmesi için 30 derecelik lens uygulanmıştır. Sürücüsüz şekilde 22 Ω üzerinden sürülen LED'in üzerindeki akımın değeri 409 mA'dir. Şekil 3'teki grafikten yola çıkarak, fotodiyota giden ışının lümen yoğunluğu yaklaşık 1.8 lm/sr olduğu görülmektedir. Tasarımdaki LED ve fotodiyot Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. LED için akım-lümen yoğunluğu grafiği [11]



Şekil 4. LED ve fotodiyot

FOTODİYOT (Rx)

Fotodiyot ters yönde bağlandığında, sadece ışık olduğunda çalışacaktır. Zıt kutuplaşma nedeniyle P-N birleşiminin her iki yanında "+" ve "-" yüklerinin bulunmadığı nötr bir bölge oluşur. Işık bağlantı noktasına ulaştığında P bölgesindeki elektronlar ışığın verdiği enerjiyi kullanarak kovalent bağı kırar ve

ISBN: 978-625-6517-82-0

serbest enerjiyle N bölgesine ve oradan da kaynağa doğru akmaya başlar. Gerilim kaynağının pozitif kutbunun çekici etkisinden dolayı N bölgesindeki elektronlar çekilir. Öte yandan kaynak katottan yayılan elektronlar diyotun P bölgesine doğru akar.

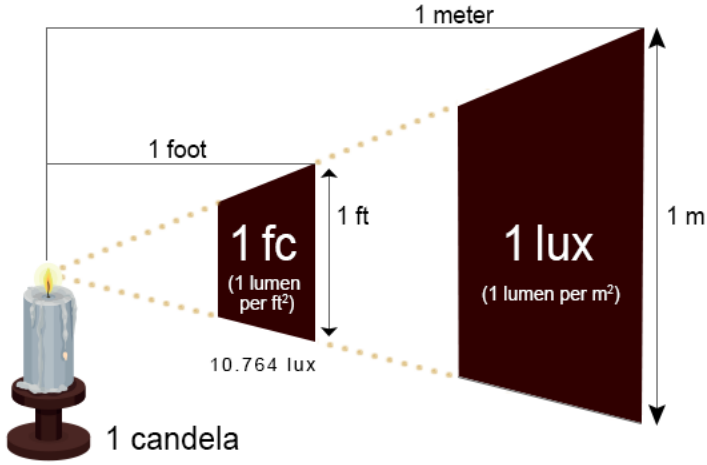
Fotodiyotların duyarlılığı, PD'nin ışık girişine olan duyarlılığının bir ölçüsüdür. Bu durum aynı zamanda, aşağıdaki denklem ile ifade edildiği üzere, fotoakımın (Ip) belirli bir dalga boyundan gelen ışık gücüne olan (P_l) oranıdır [10].

$$R_P = \frac{I_P}{P_l} \tag{2}$$

Aydınlık ve ışık emisyonu için SI ölçüm birimi, metrekare başına bir lümene eşdeğer olan lux (lx) ile tanımlanmakta ve gün ışığı için watt/m^2 ile görünür ışık bandının çarpımı olarak ifade edilmektedir [12]. Şekil 5'te kandela (cd) ve aydınlık ilişkisi verilmiştir. Kandela, herhangi bir yönde, 540-1012 Hz'de monokromatik radyasyon olarak steradyan başına 1683 watt yayan bir kaynaktan gelen ışığın yoğunluğudur. Elektrik gücünü ışığa dönüştürme işlemi ışık etkinliği (LER) parametresi ile ifade edilir ve watt başına Lümen cinsinden tanımlanır. Güç ve lx arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir [13].

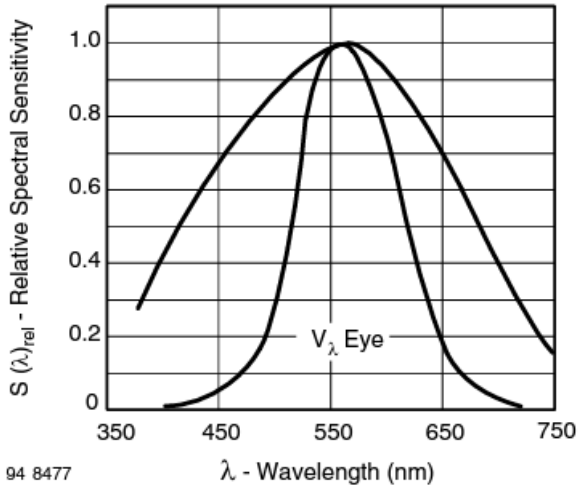
$$1lx = W\frac{LER}{A(m^2)} \tag{3}$$

Yüksek aydınlık için bir aydınlatıcının (LED) uçları arasında yüksek potansiyel fark ve yüksek akım olması gerekir. Fakat bu ayarlar aydınlatıcının ömrü ve kullanılabilirliği açısından değerlendirilmeli ve optimal seçenek belirlenmelidir.



Şekil 5. Aydınlık ve kandela ilişkisi [14]

Çalışmada kullanılan BPW21 Silisyum fotodiyotunun, gelen dalga boyuna göre algılama verimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Dalga boyuna göre göreceli algılama verimliliği [15]

V-VLC VE GÜNEŞ IŞIĞI ETKİSİ

Güneş radyasyonu, herhangi bir konumdaki güneş enerjisi miktarıdır. Dünyanın dönme hızının standart meridyeni, yerel boylam farkı ve yerel zaman dilimi, ışınım hesaplamasında ana anahtarlar olarak kabul edilir. Doğru

ISBN: 978-625-6517-82-0

radyasyon ölçümleri yüksek hassasiyetli cihazlar gerektirir. Genel olarak güneş ışınımı (W/m^2), yatay düzlemdeki açık gökyüzü güneş ışınımından hesaplanabilir. Güneş radyasyonunu ölçmek için en iyi parametre q faktörüdür ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

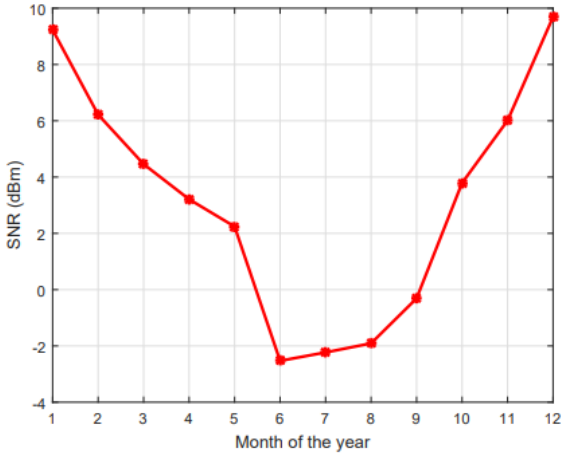
$$q = (1350.3\left[1 + 0.099\cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right][sin\varphi sin\zeta + cos\varphi cos\zeta cosw]) \quad (4)$$

Burada ζ güneş deklinasyonu, ω açısal yer değiştirme, φ konum boylamı ve n yılın kaçıncı günü olduğu bilgisidir.

V-VLC işaret iletim performansı aşağıda aktarılan güneş ışığı koşullarından etkilenebilir.

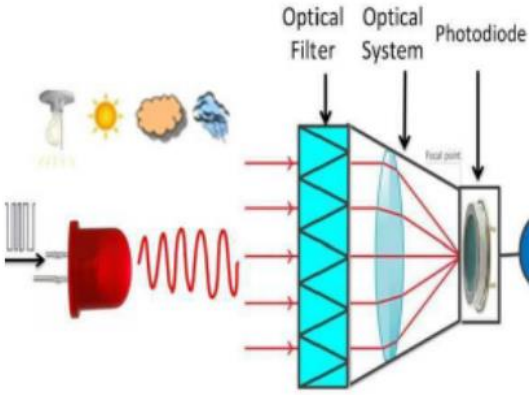
- Gürültü ve girişim: Güneş ışığı V-VLC sinyaliyle aynı frekans bandında ise gürültü ve girişime neden olabilir. Bu durum, iletişim sinyalinin kalitesini etkileyecektir.
- Sinyal zayıflaması: Güneş ışığı atmosferde, yansıtıcı/engelleyici yüzeyler tarafından dağılabilir veya emilebilir. Bu durum, menzili ve hızı etkileyerek V-VLC sinyal iletim performansını düşürecektir.
- Arka ışık: Güneş ışığı, alıcı tarafından alınan sinyal için bir arka plan oluştururs alınan sinyalin netliğini etkileyebilir.
- Optik tasarım gereksinimleri: Güneş ışığı ve V-VLC sinyallerinin aynı optik sistemde iletilmesi gerektiğinde optik tasarım daha karmaşık hale gelebilir. Bu durum, uygun optik filtrelerin ve lenslerin kullanılmasını gerektirecektir.
- Kod çözme algoritması: Güneş ışığından kaynaklanan arka plan gürültüsü, alınan sinyaldeki istenmeyen paraziti ortadan kaldırmak için daha karmaşık bir kod çözme algoritması gerektirebilir.
- Gündüz-gece farklılığı: Güneş ışığının etkisi, özellikle dış mekan V-VLC sistemleri için günün saatine ve hava koşullarına göre değişir. Gündüz ve gece performansı farklılık gösterebilir.

Örneğin Toronto'da LED aydınlık yoğunluğu 1750 cd iken sinyal-gürültü oranı Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere yaz aylarında güneş ışığı yüksek gürültü oluşturmaktadır.



Şekil 7. Aylara göre SNR değişimi [13]

Güneş ışığının etkilerini azaltmak için optik filtreler kullanılabilir veya tasarlanacak algoritmalar sayesinde sinyal ve gürültü daha iyi ayırt edilerek, iletişim performansı artırılabilir. Ayrıca, gelişmiş alıcı ve verici cihazlarının, daha düşük güçlü V-VLC sinyallerini algılama yetenekleriyle donatılması, güneş ışığına karşı daha dayanıklı bir iletişim sağlayabilir. Şekil 8'de fotodiyota ek olarak kullanılan optik filtrelere örnek verilmektedir.



Şekil 8. Optik filtre içeren fotodiyot

ISBN: 978-625-6517-82-0

VLC MODÜLASYONU

VLC modülasyonu, bilginin (optik sinyalin) fazında ve genliğinde kodlanmaması açısından RF iletişiminden farklıdır. Dolayısıyla VLC için genlik ve faz modülasyonu kullanılmamaktadır. VLC'de modülasyon, mesaj sinyalindeki bilgiye karşılık gelen ışık yoğunluğunun değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. VLC iletiminde SCM (single-carrier modulation), CSK (color shift keying) ve MCM (multi-carrier modulation) modülasyon teknikleri kullanılmaktadır.

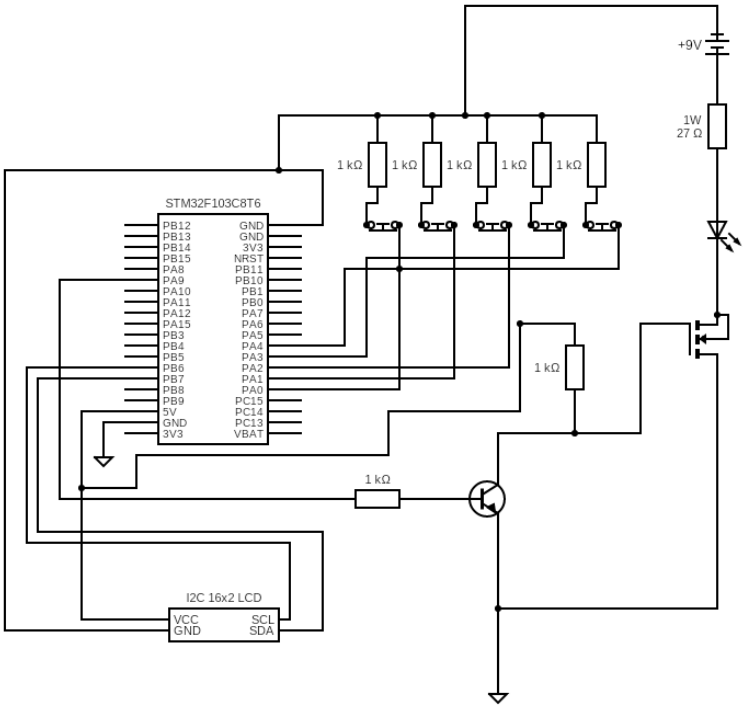
VLC için modülasyon tasarımında dikkate alınması gereken iki faktör karartma ve titremedir. Örneğin karartma yapılırken, kamuya açık yerlerde normal görsel faaliyetlerde gerekli olan aydınlık seviyesinin 30-100 lux arası olduğu değerlendirilmelidir. Ölçülen ışık ile algılanan ışık arasında aşağıdaki gibi doğrusal olmayan bir ilişki vardır.

$$Algılanan\ ışık(\%) = 100\sqrt{\frac{(Ölçülen\ ışık)\%}{100}} \qquad (5)$$

Modüle edilmiş ışığın parlaklığındaki değişiklikler, insan gözünün algılayabileceği dalgalanmalara yol açmayacak şekilde yapılmalıdır. IEEE 802.15.7'ye göre, zararlı etkilerden kaçınmak için anahtarlama 200 Hz'den daha hızlı olmalıdır [16].

VERİCİ DEVRE TASARIMI

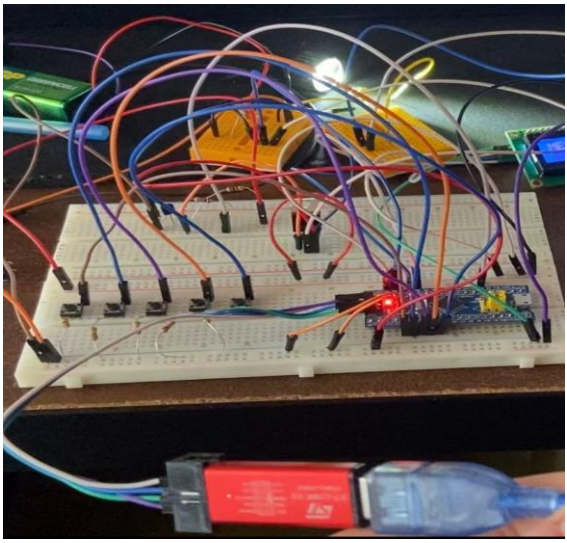
Verici devresi Şekil 9’da gösterilmektedir. 1 kΩ pull-up dirençleri ile toprağa bağlanan butonlara, yazılım aracılığıyla veri entegre edilmektedir. Transistör olarak 2N2222 NPN BJT, FET NPN IRF540N kullanılmaktadır. Ayrıca 3 W power-LED kullanılmıştır. LED’in sürücüyle kullanılması daha optimal bir yaklaşımdır. Aynı zamanda sistemdeki 1 W 27 Ω direncin de iyi sonuç verdiği görülmektedir. İlave olarak LED’in soğutucu ile kullanılması sistemin kararlı olmasını da sağlamıştır.



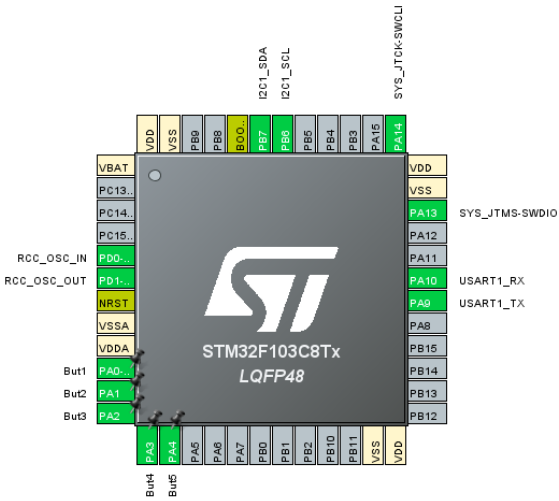
Şekil 9. Verici devresi [17]

Butonlara veri aktarımı PA0-PA4 arasındaki pinler ile yapılmaktadır. LED'e, veri STM32F103C8T6 mikrodenetleyicisinin [18] Tx pininden (PA9) gönderilmektedir. İstenen butona basıldığında data Tx pini aracılığıyla verici modüle aktarılmaktadır. Transistörün base ucuna herhangi bir akım uygulanmadığında FET'in (field-effect transistor) gate kısmında potansiyel gerilim oluşmaktadır. Bu durumda FET iletime geçip LED'i yakmaktadır. Fakat transistör iletime geçtiğinde yani Tx'ten veri geldiğinde FET iletime sadece milisaniyeler mertebesinde geçerek, LED anlık ışık verecek ve kapanacaktır. Bunu önlemek aracılığıyla transistörün base ucu PB9 pini ile bağlanmalıdır. Bu şekilde veri geldiğinde, butona basılsa da basılmasa da LED yanacaktır. Ayrıca spesifik olarak kodlanan butonlara basıldığında, LCD ekran I2C protokolü ile veriyi alacak ve LCD ekrana gönderecektir. Alıcı ve vericideki LCD'ler I2C protokolü ile haberleşecektir. Bu protokol için STM32'de var olan I2C-LCD kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 10'da verici devresinin gerçeklenmiş versiyonu, Şekil 11'de ise vericinin STM32CubeIDE'deki donanım konfigürasyonu sunulmuştur.

ISBN: 978-625-6517-82-0



Şekil 10. Verici devresinin gerçeklenmesi



Şekil 11. Verici donanım konfigürasyonu

Vericide kullanılan kod blokları aşağıda aktarılmıştır.

```
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void MX_I2C1_Init(void);
char* msgInit;

char* responseChar = "12345";
char* response[10] = {" DUR!  ", "  YAVAŞ!  ", "  İLERLE!  ", "  ACİL DURUM!  ", "  KAZA!  "};
int msg = 0;
int sendMsg(char* response, char responseChar);
void LCD_printMsg(char* str);
```

```
  for (int i = 0; i < strlen(msgInit); i++)
  {
      HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)&msgInit[i], 1, HAL_MAX_DELAY);

      HAL_Delay(0.1);
}
```

```
while (1)
{
    if(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, But1_Pin))
    {
        HAL_Delay(50);
        while(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, But1_Pin));
        HAL_Delay(50);

        if(msg == 1)
        {
            msg = sendMsg(response[msg], responseChar[msg]);
        }

        else
        {
            msg = 1;

            LCD_printMsg(response[msg]);
        }

    }
```

```
void LCD_printMsg(char* str)
{
    lcd_put_cur(0,0);
    lcd_send_string("Mesaj:        ");

    lcd_put_cur(1,0);
    lcd_send_string (str);
}

int sendMsg(char* response, char responseChar)
{
    HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)&responseChar, 1, 1000);

    lcd_put_cur(0,0);
    lcd_send_string("Mesaj :   ");

    lcd_put_cur(1,0);
    lcd_send_string (response);

    return 0;
}
```

I2C, HAL kütüphaneleri ve UART fonksiyonları dışında, verici yazılımı aşağıdaki gibi çalışmaktadır. While, programın sürekli olarak çalıştırıldığı ve belirli koşullara göre eylemlerin gerçekleştirildiği bir ana yürütme döngüsüdür.

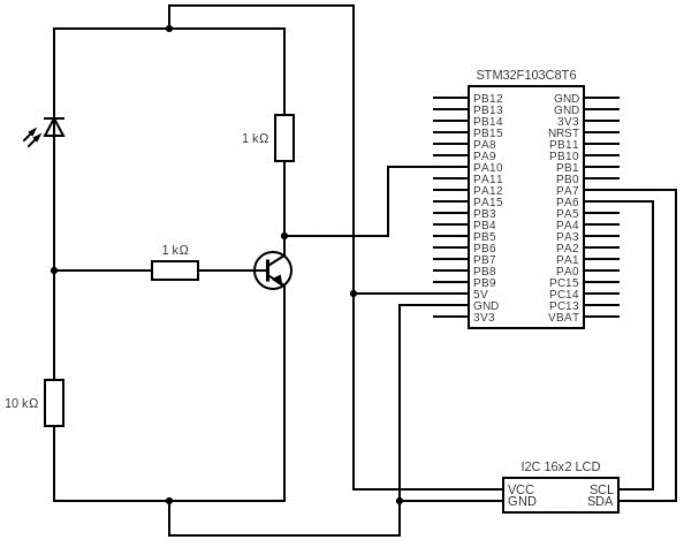
ISBN: 978-625-6517-82-0

Döngü içinde yazılan kod, programın her turunda çalıştırılır. Bu kod, kullanıcının bir düğmeye basmış olması koşulunu kontrol eder ve bu koşula göre belirli bir eylemi yürütür.

if(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, But1_Pin)) kod bloğu buton1 pini Low (butona basıldı ise) çalıştırılırken, ikinci while(!HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, But1_Pin)) döngüsü buton tamamen serbest bırakıldı anlamını taşır. Bu döngü, düğme bırakıldığında koşulun karşılanmasını bekler. if(msg = =1) koşulunda, msg değişkeni zaten 1 ise (yani "Dur" mesajı zaten gönderilmişse), sendMsg fonksiyonu çağrılır ve aynı mesaj tekrar gönderilir. Eğer msg değişkeni 1 değilse (yani "Dur" mesajı gönderilmediyse), msg değişkeni 1 olarak güncellenir ve LCD'de "Dur" mesajı görüntülenir. i2c.ld fonksiyonu mesajı LCD'ye gönderir.

ALICI DEVRE TASARIMI

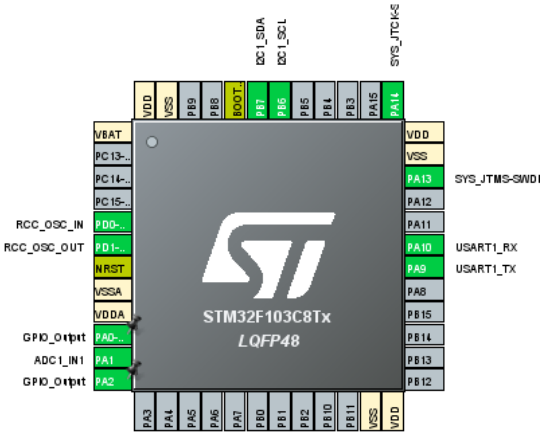
Alıcı devresi Şekil 12'de verilmiştir. Fotodiyot olarak BPW21 ya da BPW34 kullanılabilir. Transistör olarak verici devresindeki gibi 2N2222 NPN BJT kullanılmıştır.



Şekil 12. Alıcı devre şeması [17]

Burada veri alımını fotodiyot gerçekleştirmektedir. Fotodiyotlar, üzerlerine yeterli miktarda ışık düştüğünde katotlarından anotlarına akım geçirirler. Şekil 12'de, verici devresindeki LED'den gelen görünür ışığı algılayıp kendini iletime geçirecek, bu sayede transistör iletime geçerek fotodiyotun aldığı veriyi Rx

pinine (PA10) aktaracaktır. Vericiden alınan bu veri UART protokolü ile kablosuz olarak aktarılır ve I2C protokolü aracılığıyla LCD ekrandan okunur. Alıcı donanım konfigürasyonu Şekil 13'te verilmektedir.



Şekil 13. Alıcı donanım konfigürasyonu

Alıcıda kullanılan kod blokları ve detayları aşağıda aktarılmıştır.

```
while (1)
{
  HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t *)&buffer, 1);

  if(x!=0)
  {
      HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, 1);

      HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)response[x], strlen(response[x]), HAL_MAX_DELAY);

      LCD_printMsg(response[x]);

      HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, 0);

      x = 0;
  }
}
```

```
void LCD_printMsg(char* str)
{
    lcd_put_cur(0,0);
    lcd_send_string("MESAJ:        ");

    lcd_put_cur(1,0);
    lcd_send_string (str);
}
```

ISBN: 978-625-6517-82-0

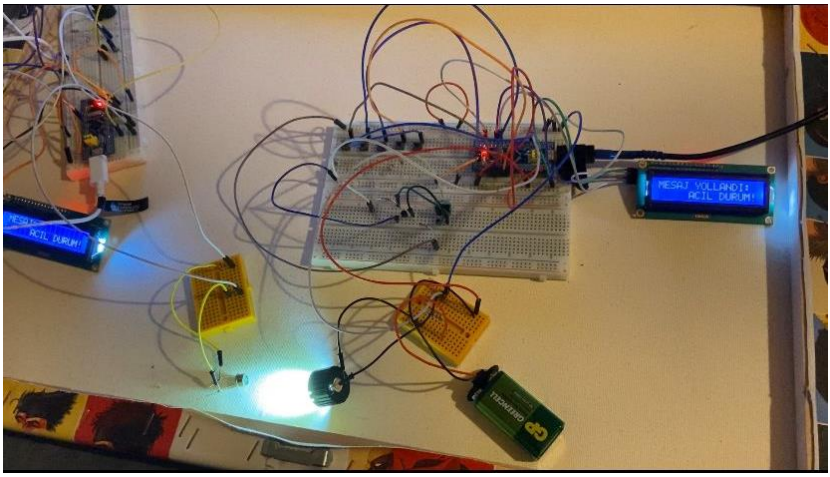
```
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{

    HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t *)&buffer, 1);

   if (*buffer ==1)
   {
       x=1;
   }
   if (*buffer ==2)
   {
       x=2;
   }
   if (*buffer ==3)
   {
       x=3;
   }
   if (*buffer ==4)
   {
       x=4;
   }
   if (*buffer ==5)
   {
       x=5;
   }
```

- Alıcıdaki while (1) sonsuz bir döngü başlatır. Bu, programın sürekli çalışmasını sağlar. UART birimini, gelen UART verilerini kesme bazında dinlemeye hazır hale getirir. Başka bir ifade ile, UART birimi gelen veriyi bekler ve veri geldiğinde de ilgili kesme işlevini çağırır. Koşul, x=0 olmadığı sürece dahili kod çalışır.
- HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, 1): bu satır LED pinini, GPIO_PIN_0, Yüksek'e çeker. Bu durum, bir mesajın alındığını belirtmek için kullanılır.
- UART_Transmit satırı, alınan mesajı UART üzerinden haberleşen cihaza gönderir.
- LCD_printMsg satırı, alınan mesajı LCD ekranda görüntülemek için bir fonksiyon çağırır. HAL write satırı GPIO_PIN_0 LED pinini Düşük olarak ayarlar, LED'i kapatır. Bu durum, mesajın işlendiğini belirtmek için kullanılır.
- Kod sürekli olarak alıcı UART'tan gelen verileri dinler ve belirli bir mesaj alındığında tepki verir. Bir mesaj alındığında LED açılır, mesaj ekranda görüntülenir ve ardından LED kapatılır. Bu işlemler sürekli bir döngü içinde devam eder.
- RxCpltCallBack UART veri alımı tamamlandığında otomatik olarak çağrılan bir kesme fonksiyonunu belirtir. Bu fonksiyonun huart

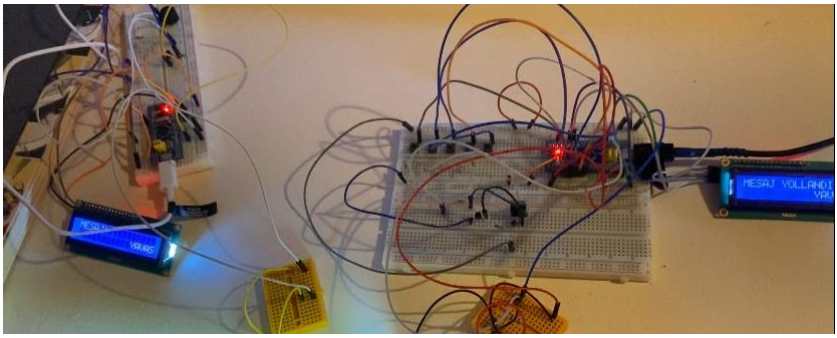
parametresi, kesmeyi tetikleyen UART birimini belirtir. Buffer ise bellek alanına yazma için kullanılmıştır.

- Receive satırı, kesme fonksiyonu içinde HAL_UART_Receive_IT fonksiyonunu tekrar çağırarak bir sonraki karakteri almaya hazırlar. Bu şekilde, karakterler art arda alınabilir.

Şekil 14'te 4. butona basıldığında verici LCD'den mesaj "ACİL DURUM!" olarak yollanmış ve alıcıda mesaj aynı şekilde "ACİL DURUM!" olarak alınmıştır. Şekil 15'te "YAVAŞ" mesajının gönderilmesi görülmektedir.



Şekil 14. "ACİL DURUM!" mesajının VLC yardımıyla gönderilmesi



Şekil 15. "YAVAŞ" mesajının VLC yardımıyla gönderilmesi

SONUÇ

Gerçeklenen sistem tasarımda ışık kaynağı olarak 3 W power-LED kullanılmıştır. Dolayısıyla, tasarlanan sistem iç ortamda daha iyi performans göstermektedir. Çalışmadaki ışık kaynağı yüksek güçlü olarak bir araca entegre edildiğinde, bu sorun ortadan kalkmış olacaktır. Alıcı kısımda ışığı hassas şekilde algılayan iyi bir fotodiyot kullanılması gerekmektedir. Görünür ışıkla çalışıldığından, fotodiyotun herhangi başka bir ışık kaynağını algılayıp, devreyi iletime geçirmemesi çok önemlidir. Bunun bir V-VLC tasarımı olduğu düşünüldüğünde, herhangi bir üretici hatasının büyük problemlere yol açabileceği unutulmamalıdır. Vericiden alıcıya olan haberleşme menzili yaklaşık olarak 2 metredir. Ayrıca power-LED için 5 derecelik lensler kullanıldığından, LED fotodiyota çok yaklaştığında işlevini kaybetmektedir. Bu problemler yüksek güçlü bir LED kullanımı ve doğru açılı lenslerle çözülebilir. Öte yandan, power-LED'in lümen ve akısı önemli olduğundan, bu parametreler kullanılarak sisteme uygun bir LED sürücüsünün entegre edilmesi durumunda çalışma aralığı optimize edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 1919B012217294 başvurusu numarası ile TÜBİTAK 2209-A üniversite öğrencileri araştırma projeleri destekleme programı kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Park, S. B., Jung, D. K., Shin, H. S., Shin, D. J., Hyun, Y. J., Lee, K., & Oh, Y. J. (2007). Information broadcasting system based on visible light signboard. Proc. Wireless Opt. Commun, 30, 311-313.
2. Namdar, M., Basgumus, A., Tsiftsis, T., and Altuncu, A. (2018). Outage and BER performances of indoor relay-assisted hybrid RF/VLC systems. Iet Communications, 12(17), 2104-2109.
3. Basgumus, A., Hicdurmaz, B., Temurtas, H., Namdar, M., Altuncu, A., and Yilmaz, G. (2016). Optimum transmission distance for relay-assisted free-space optical communication systems. Optik, 127(16), 6490-6497.
4. Basgumus, A., Namdar, M., Yilmaz, G., & Altuncu, A. (2016). Performance analysis of the differential evolution and particle swarm optimization algorithms in cooperative wireless communications. In Optimization Algorithms-Methods and Applications (pp. 99-118). Rijeka: InTech.

5. https://byjus.com/physics/visible-light/ erişim tarihi: 01.09.2023

6. Peña, E. and Legaspi, M. G. (2020). Uart: A hardware communication protocol understanding universal asynchronous receiver/transmitter. Visit Analog, 54(4).

7. https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html erişim tarihi: 01.09.2023

8. https://www.javatpoint.com/i2c-protocol erişim tarihi: 01.09.2023

9. https://controllerstech.com/ erişim tarihi: 01.09.2023

10. Turan, B., & Ucar, S. (2017). Vehicular visible light communications. Visible Light Communications, 133-153.

11. http://www.wayjun.com/Datasheet/Led/3W%20High%20Power%20LED.pdf erişim tarihi: 01.09.2023

12. Beshr, M., Andonovic, I., and Hussien, M. (2012, October). The impact of sunlight on the performance of visible light communication systems over the year. In Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks IX (Vol. 8540, pp. 88-97). SPIE.

13. Farahneh, Hasan (2018). Investigation of vehicle to vehicle communication system using visible light technology. Toronto Metropolitan University.

14. https://pllight.com/understanding-lighting-metrics/ erişim tarihi: 01.09.2023

15. Garg, R., Varna, A. L., and Wu, M. (2011, November). " Seeing" ENF: natural time stamp for digital video via optical sensing and signal processing. In Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia (pp. 23-32).

16. Khan, L. U. (2017). Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges. Digital Communications and Networks, 3(2), 78-88.

17. https://github.com/yetkinakyz erişim tarihi: 01.09.2023

18. https://community.st.com erişim tarihi: 01.09.2023