

IEEE 802.11bd ve 5G NR V2X

Teknolojilerinin SWOT Analizi Raporu

1. AMAÇ

Bu raporun amacı, yeni nesil araçtan-her-şeye iletişim teknolojileri olan **IEEE 802.11bd** ve **5G NR V2X** sistemlerinin güçlü ve zayıf yönlerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektir.

Her iki sistem de araç içi ve araçlar arası iletişimde **düşük gecikme, yüksek güvenilirlik ve veri bütünlüğü** hedefleyen, otonom sürüş ve akıllı ulaşım sistemlerinin temelini oluşturan teknolojilerdir.

Bu analiz, hangi teknolojinin hangi senaryolarda daha avantajlı olduğunu belirleyerek gelecekteki uygulama alanları için stratejik bir değerlendirme sunar.

2. KAPSAM

Rapor, her iki teknolojiyi dört temel başlık altında inceler:

- **Strengths (Güçlü Yönler)**
- **Weaknesses (Zayıf Yönler)**
- **Opportunities (Fırsatlar)**
- **Threats (Tehditler)**

Kapsam, teknik mimari, performans özellikleri, maliyet-etkinlik, standart uyumluluğu, altyapı gereksinimleri ve gelecekteki kullanım potansiyellerini içermektedir.

Analiz, akademik makalelerde yer alan veriler ve endüstri standartlarına dayanarak yapılmıştır.

3. IEEE 802.11bd TEKNOLOJİSİ

3.1 Strengths (Güçlü Yönler)

- Geriye dönük uyumluluk:** 802.11p tabanlı sistemlerle iletişim kurabilir, mevcut DSRC altyapısını kullanabilir.
- Düşük maliyet:** Hücresel altyapıya gerek duymadan bağımsız çalışabilir.
- Gelişmiş hata toleransı:** LDPC kodlama, yeniden iletim ve Midamble yapısı sayesinde daha kararlı veri aktarımı sağlar.
- Yüksek hız desteği:** 500 km/sa hızda bile iletişimi sürdürür.
- Yerel uygulamalara uygunluk:** Kavşak güvenliği, kısa menzilli uyarı sistemleri gibi senaryolar için ideal yapıdadır.

3.2 Weaknesses (Zayıf Yönler)

- Sınırlı ölçülebilirlik:** Yoğun trafik koşullarında paket çakışmaları artar.
- Eski teknoloji bağımlılığı:** Geriye uyumluluk zorunluluğu modern gelişmeleri sınırlayabilir.
- Kapsama alanı kısıtlılığı:** Uzun menzilli iletişimlerde performans düşebilir.
- Zayıf altyapı entegrasyonu:** 5G çekirdek ağlarıyla tam uyumlu değildir.

3.3 Opportunities (Fırsatlar)

- Mevcut DSRC yatırımlarını değerlendirme:** Yeni sistem kurmadan mevcut donanımlarla çalışabilir.
- Düşük bütçeli akıllı şehir projeleri:** Gelişmekte olan ülkelerde uygun maliyetli çözüm sunar.
- Hibrit kullanıma uygunluk:** 5G NR V2X ile birlikte kullanıldığında tamamlayıcı rol oynar.

3.4 Threats (Tehditler)

- **5G teknolojilerinin gölgesinde kalma riski:** Büyük üreticiler 5G tabanlı çözümlere yönelmektedir.
 - **Spektrum rekabeti:** 5.9 GHz bandı için 5G V2X ile çakışma yaşanabilir.
 - **Ticari ilginin azalması:** Üreticilerin tek standartlı çözümlere yönelmesi 802.11bd'nin yayılmasını sınırlayabilir.
-

4. 5G NR V2X TEKNOLOJİSİ

4.1 Strengths (Güçlü Yönler)

- **Ultra düşük gecikme:** 3 ms'ye kadar gecikme süresi ile kritik manevralar için uygundur.
- **Yüksek güvenilirlik:** %99.999 bağlantı sürekliliği sağlar.
- **Esnek numeroloji:** 15–120 kHz alt taşıyıcı aralığıyla çeşitli senaryolara uyum sağlar.
- **Gelişmiş iletişim modları:** Unicast, groupcast ve broadcast desteğiyle farklı araç iletişim biçimlerini destekler.
- **5G ekosistemiyle entegrasyon:** Network slicing, edge computing gibi modern teknolojilerle tam uyum içindedir.

4.2 Weaknesses (Zayıf Yönler)

- **Yüksek altyapı maliyeti:** Gelişmiş baz istasyonları ve ağ yönetimi gerektirir.
- **Enerji tüketimi yüksek:** Çoklu anten ve geniş bant kullanımına bağlı olarak güç ihtiyacı artar.
- **C-V2X ile geriye uyumsuzluk:** Geçiş sürecinde karmaşık sistem yapısı oluşabilir.
- **Tasarım karmaşıklığı:** Çok sayıda mod ve parametre ayarı mühendislik zorluğu yaratır.

4.3 Opportunities (Fırsatlar)

- **Tam otonom sürüsү desteği:** Platooning, sensör paylaşımı ve uzaktan sürüsү gibi ileri seviye uygulamalara uygundur.
- **5G ve 6G'ye entegrasyon:** Gelecekteki ağ teknolojileriyle uyumlu bir temel sağlar.
- **Akıllı şehir ekosistemleri:** Dronlar, trafik lambaları ve altyapı sensörleriyle bütünlük çalışabilir.
- **Operatör bazlı hizmet modelleri:** "V2X as a Service" gibi yeni ticari fırsatlar doğurabilir.

4.4 Threats (Tehditler)

- **Regülasyon ve güvenlik sorumlulukları:** Hata durumunda sorumluluk paylaşımı karmaşık hale gelebilir.
- **Standart karmaşası:** C-V2X, NR V2X ve 802.11bd'nin aynı ortamda çakışması sistem kararlılığını etkileyebilir.
- **Yüksek maliyet nedeniyle sınırlı benimsenme:** Gelişmekte olan ülkelerde yayılım hızı düşebilir.
- **Teknoloji olgunlaşma süreci:** Gerçek saha uygulamalarında henüz tam doğrulanmamış yapılar risk oluşturabilir.

5. SONUÇ

Yapılan SWOT analizine göre:

- **IEEE 802.11bd**, kısa vadede uygun maliyetli, geri uyumlu ve düşük altyapı bağımlılığı olan bir çözüm sunar.
Bu nedenle **kısa menzilli, şehir içi ve lokal uygulamalarda** avantajlıdır.
- **5G NR V2X** ise uzun vadede **tam otonom sürüsү, yüksek hız ve ultra güvenilir iletişim gerektiren senaryolar** için ideal bir yapıya sahiptir.
5G altyapısı üzerinden çalışması, onu **geleceğin akıllı şehirleri ve 6G sistemleriyle entegre çalışmaya hazır hale** getirir.

Sonuç olarak, iki teknoloji birbirinin rakibi değil, **tamamlayıcısıdır**.

Seher Akyel 235541063