



KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VERİMLİ MAC PROTOKOLLERİ

(ENERGY EFFICIENT PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS)

Sinan TOKLU¹, O.Ayhan ERDEM¹

ÖZET/ABSTRACT

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) araştırmacılar için ilgi çekici bir araştırma alanı olmuştur. Kablosuz algılayıcı düğümlerin düşük işlemci, düşük bellek, sınırlı enerji gibi problemleri bulunmaktadır. Fakat rastgele yerleştirilebilme, kendi kendine organize olabilme, beraber çalışma ve yerel hesaplama yapma gibi özelliklere sahip olan algılayıcı düğümler; askeri, çevresel, sağlık ve ticari olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. KAA'daki en büyük sorun ise enerji verimliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kablosuz algılayıcı düğümlerin kullandığı protokol olan IEEE 802.15.4 detaylı incelenmiş ve MAC katmanında enerji verimliliği için geliştirilen protokoller detaylı olarak sunulmuştur.

Wireless Sensor Networks have become an interesting research area for the researchers. Wireless sensor nodes have some problems such as low processor, low memory and limited energy. However, sensor nodes have random deployment, self organizing, collaboration, local computation features. Therefore, sensor networks can be applied several areas such as military, environmental, health and commercial areas. The most important problem of wireless sensor network is energy efficiency. There have been several researches done in this field. In this research IEEE 802.15.4 Wireless sensor Networks Protocol examined in detail and MAC Layer Protocols developed for energy efficiency are presented.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Kablosuz algılayıcı ağlar, Kablosuz algılayıcı düğümler, Enerji verimliliği, IEEE 802.15.4, MAC protokolleri

Wireless sensor networks, Wireless sensor nodes, Energy efficient, IEEE 802.15.4, MAC protocols

¹ Gazi Ün., Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü, ANKARA, sinantoklu@gmail.com

1. GİRİŞ

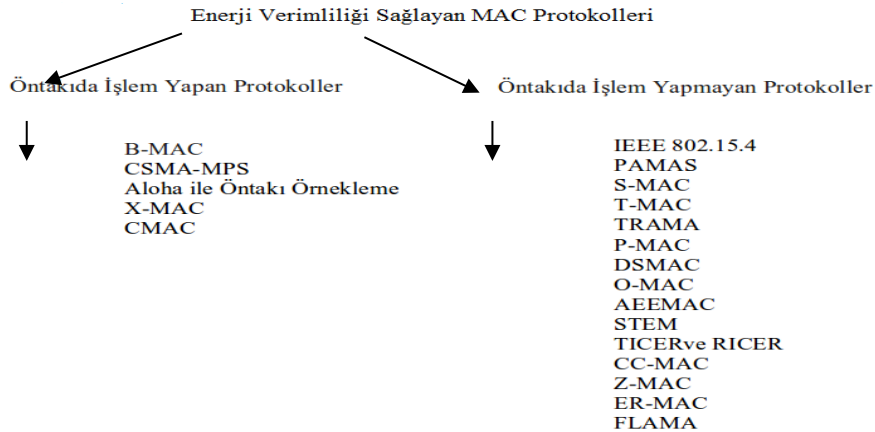
KAA çok hızlı şekilde gelişen ve kullanım alanları devamlı artan bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Boyutlarının küçük olması ve kendi kendilerini organize edebilme yeteneklerinin olmasından dolayı çok kullanışlı oldukları söylenebilmektedir. Askeri alanlarda, hasta izleme, hedef yolun izlenmesi gibi birçok alanda kullanılabilir (Shen vd., 2001).

Algılayıcı ağlar istenilen değerlerin algılanması, bu değerlerin iletimi, bu değerlerle ilgili hesaplamaların yapılması ve kendi kendine organize olma yeteneklerine sahip birçok algılayıcı düğümden meydana gelmektedir. Algılayıcı düğümlerin enerji gereksinimleri genellikle pil ile sağlanmaktadır. Algılayıcı ağlarda ulaşılması zor olan bölgelere yerleştirilen algılayıcı düğümlerin pillerinin şarj edilmesi çok zordur. Dolayısıyla KAA'da enerji gereksinimi için kullanılan pillerin daha verimli kullanılması ve bu pillerden optimum şekilde yararlanmak hem ağın ömrü açısından hem de iletişimin devamlılığı için en önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Algılayıcı düğümlerdeki enerji verimliliği için MAC (Media Acces Control- Ortam Erişim Yönetimi) katmanında yapılan tasarımlar önem olarak ilk sırada karşımıza çıkmaktadırlar (Shen vd., 2001; Blumenthal ve Handy, 2003).

MAC katmanında oluşan enerji israfı genellikle kontrol paketlerinin fazlalığı, ortamın gereksiz yere dinlenmesi, istem dışı alım, paket çakışması gibi durumlardan dolayı ortaya çıkmaktadır. Enerji israfının en fazla olduğu durum ortamın gereksiz yere dinlenmesinden dolayı oluşmaktadır. Bunun nedeni ise tüm düğümler kendini ilgilendirmeyen mesajları da alıp iletmektedir. Bu da çok fazla enerji tüketimi meydana getirmektedir. Ayrıca alınan paketlerin iletilmesi durumunda da paket çakışması gibi enerji tüketen durumların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak düğümün yaşam ömrü hızlı bir şekilde azalmakta ve ağın ömrü de düğümlerin yaşam süreleri gibi bitmektedir (Akyildiz vd., 2002; Pottie ve Kaiser, 2000). Bu çalışmada ilk önce KAA'da kullanılan protokoller ve onlarla ilgili yapılan çalışmalar açıklandıktan sonra MAC katmanı için geliştirilen enerji verimli protokoller gruplandırılarak detaylı bir biçimde açıklanacaktır.

1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ SAĞLAYAN MAC PROTOKOLLERİ

Bu bölümde KAA'da MAC katmanında yapılan enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Şekil 1'de enerji verimliliği sağlayan MAC protokollerinin öntakıda işlem parametresine göre sınıflandırılması gösterilmektedir.

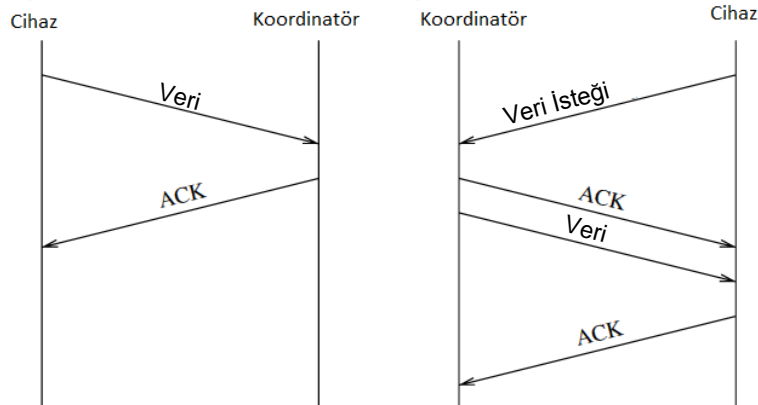


Şekil 1. MAC protokollerinin öntakıda işlem parametresine göre sınıflandırılması

Bazı MAC protokolleri, enerji verimliliğini öntakıda işlem yaparak sağlamaya çalışmakta iken bazı protokoller planlı veya plansız bir iletişimi esas alarak bu işlemi gerçekleştirmek istemişlerdir. Şekil 1’de sadece öntakı parametresi baz alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu protokollerin detayları ilerleyen bölümlerde verilecektir. Burada algılayıcı ağlar için uygun olan ve kullanılan IEEE 802.15.4 protokolü'nün yanısıra MAC katmanında enerji verimliliği için geliştirilen protokollerin genel olarak veri iletişimlerini nasıl gerçekleştirdikleri, enerji verimliliğini nasıl sağladıkları ve algılayıcı ağlara nasıl katkıda buldukları açıklanmıştır.

2.1. IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 protokolü LR-WPAN’lar (Low-Rate Wireless Personal Area Networks- Düşük Yoğunluklu Kablosuz Kişisel Alan Ağları) için yeni bir standart olarak tasarlanmıştır. Bu protokolün hedefi çok az karmaşıklık, maliyet ve güçtür. Bu standart ayrıca çoklu-sekmeli paket iletimini de desteklemektedir (Kwon ve Chae, 2006; Kredo vd., 2007). IEEE 802.15.4 basit bir sekmeli yıldız ağ oluşturmayı ve aynı zamanda çoklu sekmeli ağaç veya mesh ağı oluşturmayı da desteklemektedir. Sınırlı güce sahip cihazlar için IEEE 802.15.4 ile birlikte gelen güç korunumu mekanizmasından yararlanılarak ağ performansı ile güç verimliliği değiş tokuşu yapılabilir. IEEE 802.15.4 standardı işaret sinyali etkin modu ve çerçeve üstü yapısını güç koruma amacı için tanımlamaktadır. Böylece ya işaret sinyali aktif modta veya işaret sinyali devre dışı modta işlem yapılabilir. Şekil 2’de IEEE 802.15.4 protokolünün veri transferi gösterilmektedir.



Şekil 2. IEEE 802.15.4 Veri Transferi

İşaret sinyali aktif modta, bir ağ koordinatörü işaret sinyalini her yöne periyodik olarak yayınlar, böylece ağda bulunan diğer düğümler koordinatör tarafından önerilen çerçeve üstü yapısını bu işaret sinyallerini işiterek senkronize ederler. İşaret sinyali devre dışı modunda ise bir ağ koordinatörü işaret sinyalini her yöne göndermez sadece diğer düğümler tarama veya ilişki amaçları için işaret sinyali talep ederlerse gönderir. Her yöne yayınlanan işaret sinyallerinin içinde çerçeve üstü yapı bilgileride bulunmaktadır. Ağdaki diğer düğümler bir işaret sinyali aldığı anda, çerçeve üstü yapısını elde etmekte ve koordinatörün çerçeve üstü yapısı ile senkronize olmaya başlamaktadırlar. Bir çerçeve üstünün yapısı ağ işaret sinyalleri tarafından tanımlanmaktadır. Bir ağ işaret sinyali çerçeve üstünün başlangıcına işaret koyar ve önceki çerçeve üstü in sonunada aynı zamanda işaret koyar. Bir çerçeve üstü iki parçadan oluşmaktadır. Bunlar aktif parça ve aktif olmayan parçadır. işaret sinyali aralığı olan çerçeve üstünün uzunluğuna ve aktif parçasının süresine sırasıyla beacon derecesi ve çerçeve üstü

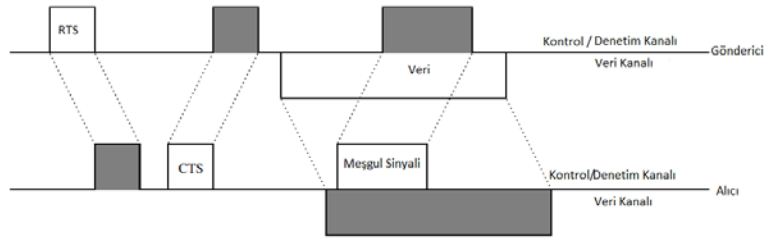
derecesi tarafından karar verilmektedir. aktif olmayan parçanın uzunluğuna ise işaret sinyali aralığından çerçeve üstü süresini çıkararak karar verilmektedir. aktif parça 16 eşit uzunlukta dilimlere bölünmüştür ve 2 periyoda sahiptir. Bu periyodlar CAP (Contention access period-Çekişme erişim periyodu) ve CFP (Optional contention free period-Opsyonel çekişme olmayan periyod) olarak adlandırılmaktadır. CAP sırasında IEEE 802.15.4 dilimlerde kanal erişimi için CSMA/CA mekanizmasından yararlanılmaktadır. CFP ise düşük gecikmeli uygulamalarda veya belirli veri bant genişliği gerektiren uygulamalarda görevlendirilebilir. enerji tüketimi ölçümü için sadece ağ işaret sinyalleri ve ACK'lar hesaba katılır. Çarpışma ile ilgili olarak verimli CSMA/CA kullanılır. Gizli terminal probleminden dolayı ortaya çıkan ek çarpışmalardan dolayı RTS ve CTS mekanizması kullanılmaz.

2.2. Algılayıcı Ağlar İçin Geliştirilen MAC Protokolleri

Bu çalışmada algılayıcı düğümlerindeki enerji verimli MAC protokolleri 2 genel sınıf altında toplanmaktadır. Bunlar enerji verimliliği için düğümlerin uyuma uyanma ve düşük güç dinleme tekniklerini kullanan ve bunlara ek olarak öntakıda işlem yaparak MAC katmanında çıkan enerji israfını önlemeye çalışan protokoller olarak tasnif edilebilmektedir. Ayrıca bu protokollerin çoğunluğu CSMA yöntemini benimsemiştir. Bunun yanında sadece TDMA ile TDMA ve CSMA yöntemlerinin beraber kullanıldığı protokollerde bulunmaktadır. Bu çalışmada bu protokoller detaylı bir biçimde anlatılacaktır.

2.2.1. PAMAS

PAMAS (The Power Aware Multiaccess With Signalling-Sinyalizasyon ile Güç Farkında Çoklu Erişim) orijinal MAC protokolü ile ayrı bir sinyalleme kanalı kullanma düşüncesinin birleşimi olarak tasarlanmıştır (Kredo vd., 2007; Singh ve Raghavendra, 1998). 2 tane alıcı vericiden yararlanarak enerjiyi korumaktadır. Bu 2 tane alıcı vericiden bir tanesi veri mesajları için diğeri ise kontrol mesajları içindir. RTS ve CTS mesaj değiş tokuşu için paket gönderiminde kullanılan kanaldan ayrı olarak bir sinyalleme kanalı kullanılmaktadır. Bu ayrı sinyalleme kanalı düğümlere ne zaman ve ne kadar uzunlukta güçlerini kapatmaları için karar verme imkânı sunmaktadır. Bu protokolde bir düğüm 6 durumda olabilmektedir. Bunlar boşa, CTS bekleme, BEB (Binary Exponential Backoff-İkili Üssel Geri Çekilme), paket bekleme, paket alma ve paket gönderme olarak adlandırılmaktadır. Bir düğüm paket iletmiyor ve almıyorsa, iletecek paketi yoksa iletecek paketi varken komşusunun iletiminden dolayı iletemiyorsa boş moda bulunmaktadır. Düğüm iletecek bir paket aldığı anda RTS iletir ve CTS bekleme moduna geçer. Eğer beklenen CTS gelmez ise düğüm BEB moduna geçer. CTS gelirse paket iletmeye başlar ve paket gönderme moduna geçer. İstenilen alıcı, CTS iletime bağlı olarak paket bekleme moduna geçer. Eğer paket bir gidiş geliş zamanı içinde gelmeye başlamaz ise, düğüm boş moda geçer. Eğer paket gelmeye başlar ise, sinyalleme kanalı üzerinde meşgul tonu iletir ve paket alma moduna geçer. Eğer hiçbir komşusu paket gönderme ve CTS bekleme durumunda değilse boş modtaki düğüm RTS aldığı anda, CTS ile karşılık verir (Singh ve Raghavendra, 1998; Ya vd., 2000). PAMAS ayrıca meşgul tonunu iletişimde kullanılmaktadır. PAMAS cihazları iki durumda gücü kapatırlar. Bunlar, ya gönderecek verisi yoktur ya da komşuları başka bir düğüm ile veri gönderimine başlamışlardır. Şekil 3'de PAMAS protokolüne ait veri transferi gösterilmektedir.

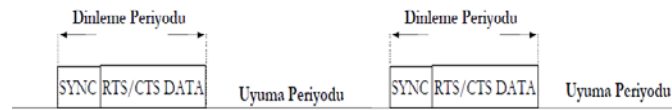


Şekil 3. PAMAS veri transferi

Paket gecikmeleri düğüm kapanmalarının sonucu olarak artmamaktadır, düğümün kapalı olduğu periyodun sonucu olarak artmaktadır. Bu protokol ayrıca gizli terminal problemini yakalamaktadır.

2.2.2. S-MAC

S-MAC (Sensor Medium Access Protocol-Algılayıcı Ortam Erişim Protokolü) protokolü CSMA tabanlı bir protokolüdür. S-MAC enerji tüketimini azaltmak ve kendi kendine yapılandırma olayını desteklemek için 3 tane yeni teknik kullanmaktadır. Ortamın gereksiz yere dinlenmesi sırasında harcanan enerjiyi azaltmak için düğümler periyodik olarak uyku moduna geçirilmektedir. Komşu düğümler sanal kümeleme içinde olup uyku planları otomatik olarak senkronize olmaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Ye vd., 2002). PAMAS protokolünden esinlenerek S-MAC protokolünde bir düğüm diğer düğümler ile iletişim yaparken kendi radyosunu kapatabilmektedir. PAMAS protokolünden bir farklı yönü kanal içi sinyalleşme tekniğini kullanmasıdır. Ayrıca S-MAC protokolü algılayıcı ağ uygulamaları için çakışmadan kaynaklanacak gecikmeyi azaltmak için mesaj aktarma metodunu kullanmaktadır. İyi ölçeklenebilirlik ve çakışmadan kaçınma için birleşik planlamadan ve rekabet planından yararlanılmıştır. S-MAC protokolünde kullanılan mesaj aktarma kavramı ile büyük verilerin iletilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede en temel bilgi olan büyük paketlerin küçük parçalara ayrılarak gönderilmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Gecikme ise düğümde hangi uygulamanın çalıştığına göre ya önemlidir ya değildir. Ağda her hangi bir akış yok ise çok düşük bir veri iletişimi ortaya çıkacaktır. Bu yüzden çoğu zaman düğümler boş durumundadırlar. Bu durumda çok az gecikmeler fazla önemli olmamakta biraz gecikme olsa bile bu olay enerji korunumu için kullanılabilir. Dolayısıyla S-MAC protokolünde düğümler ortamın gereksiz yere dinlenmesi durumunda iken düğümleri periyodik olarak uyku moduna göndermektedir. Dolayısıyla dinleme uyuma zamanları sabit ve periyodiktir. Bu sayede ortamın gereksiz yere dinlenmesinden ortaya çıkacak olan enerji tüketimi S-MAC protokolü sayesinde azaltılmaktadır (Ye vd., 2002; Misra ve Mohanta, 2010). Ancak bu durumda gecikme artmaktadır. Düğümlerin işbirliği yapabilmesi ve beraber hareket edebilmesi için çok iyi bir senkronizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. S-MAC mimarisi diyagramı Şekil 4'de gösterilmiştir.

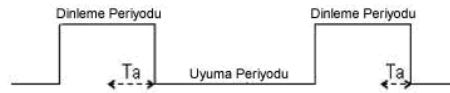


Şekil 2.4. S-MAC mimarisi

S-MAC protokolünde periyodik dinleme ve uyuma işlemi için bir zamanlayıcı kullanılmıştır. Bütün düğümler kendi dinleme ve uyuma zamanlarını belirleyebilmektedirler. 802.11 gibi RTS/CTS kontrol paketlerini kullanmaktadırlar. Senkronizasyon için sanal kümeleme kullanılmaktadır. Periyodik dinleme/uyuma moduna geçmeden her düğüm bir plan seçmeli ve bunu komşularına bildirmelidir. Her düğümün bir plan tablosu bulunmakta ve bilinen tüm komşuların planları bu tabloda güncellenmektedir.

2.2.3. T-MAC

T-MAC (Timeout Medium Access Control- Zaman Aşımı Ortam Erişim Protokolü) protokolü CSMA tabanlı bir protokoldür. S-MAC protokolünden esinlenmiştir. T-MAC boşta dinlemeyi KAA için minimize etmektedir. Sabit uzunluktaki görev çevrimi yerine bir zamanlayıcı koyarak aktif periyodun sonlanıp sonlanmayacağına karar vermektedir (Kredo ve Mohapatra, 2007; Van Dam ve Langendoen, 2003). Farklı yükteki en uygun aktif zamanı korumak için dinamik olarak onun uzunluğuna karar verilmektedir. Aktif zaman sezgisel yolla yani hiçbir şey işitilmediğinde sonlandırılmaktadır. Her düğüm komşularıyla iletişime geçmek için periyodik olarak uyanır ve sonra bir sonraki çerçeveye kadar tekrardan uykuya geçer. Bu sırada yeni mesajlar kuyruğa alınır. Düğümler birbirleriyle iletişimi RTS, CTS, ACK paketlerini kullanarak gerçekleştirirler. Aktif periyotta olduğu sürece bir düğüm dinlemeye ve potansiyel iletme devam edecektir. Aktif periyot, belirli zaman içerisinde bir aktivasyon olayı oluşmazsa sona erecektir. Düğüm eğer aktif periyotta değilse uyuyacaktır. Çerçeve senkronizasyonu S-MAC protokolünde açıklanan sanal kümelemeden esinlenmiştir. Bir düğüm ne zaman uyanırsa beklemeye ve dinlemeye başlar. Eğer zamanın belirli bir diliminde bir şey işitmezse, çerçeve planını seçer ve bir sonraki çerçevenin başlangıcını içeren bir SYNC paket gönderir. Eğer bir düğüm başlama sırasında başka bir düğümden bir SYNC işitirse, bu SYNC paketindeki planı takip eder ve benzer şekilde kendi SYNC paketini gönderir. Düğümler kendi SYNC'lerini arada bir tekrar gönderirler. T-MAC mimarisi Şekil 5'te gösterilmiştir.



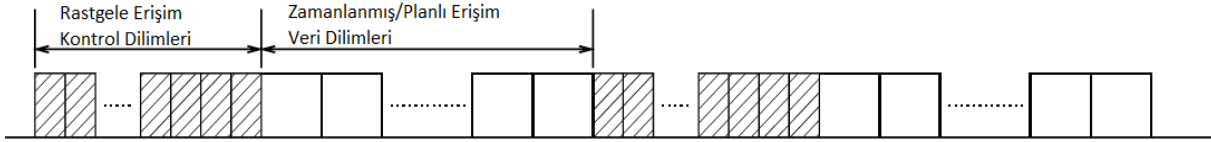
Şekil 2.5. T-MAC mimarisi

Sanal kümeleme tekniğinin uygulanması kolaydır. Ancak sanal kümelemede bulunan dinleme periyotları senkronizasyonunu bozmaktadır. Bu problemten dolayı T-MAC protokolünde erken uyuma problemi ortaya çıkmaktadır.

2.2.4. TRAMA

TRAMA (Traffic-Adaptive Medium Access-Uyarlamalı Trafik Ortam Erişimi) KAA'lar için enerji verimli çakışma olmayan kanal erişimi için geliştirilen bir protokoldür. TDMA tabanlı bir protokoldür (Kredo ve Mohapatra, 2007; Rajendran vd., 2003). TRAMA enerji tüketimini tek noktaya yayın, çok noktaya yayın ve her yöne yayın iletiminde çarpışma olmamasını ve düğümlere alma veya iletme yapmadıkları zaman düşük güç moduna geçmelerine izin vererek azaltmaktadır. TRAMA zamanı dilimli olarak kullanır ve belirli zaman diliminde hangi düğümün iletim yapacağına karar verme için her düğümdeki trafik hakkındaki bilgiler üzerinde dağıtık seçim planını kullanır. Planlı zaman dilimi kullanarak

büyük veri mesajları için çekişmeyi önlemiş küçük ve periyodik kontrol mesajları için zaman dilimlerine rastgele erişimi desteklemiştir. Düğümler TRAMA değiş tokuşunu kendilerinin iki-hop komşuluk bilgilerini ve iletim programlarını kronolojik sırayla kendi trafiklerindeki istenilen alıcı düğümleri belirlemek ve sonra her zaman dilimi sırasında iletecek ve alacak düğümleri seçmek için kullanılmaktadırlar. Şekil 6'da TRAMA protokolüne ait çerçeve yapısı gösterilmektedir.

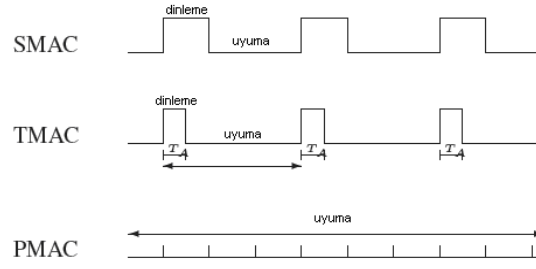


Şekil 6. TRAMA çerçeve yapısı

TRAMA topoloji bilgilerini paylaşmak için Komşu Protokolü (KP) ve düğümlerin kuyruklarında ne kadar trafiğe sahip olduğu bilgisini paylaşan ve aynı zamanda düğümlere iki-hop komşuluk bilgilerinin ve planlarının değiş tokuşuna izin veren plan değiş tokuşu protokolü (PDTP) ve komşuluk ve plan bilgilerini kullanarak o anki zaman dilimini kullanacak gönderici ve alıcıları seçmek için ve diğer bütün düğümleri düşük güç modunda bırakma işlemi için uyarlamalı seçim algoritması (USA)'nı kullanır. KP bütün düğümler boyunca tutarlı iki hop topoloji bilgilerini elde etmek için sinyal dilimlerini kullanarak rastgele erişim periyodu sırasında bir hop komşuluk bilgilerini komşu düğümler arasında yaymaktadır. Rastgele erişim periyodu sırasında, düğümler çekişmeli kanal edinimi işlemini yerine getirirler. Düğümler komşularıyla trafik tabanlı bilgileri veya planların değiş tokuşu için PDTP'yi kullanılmaktadırlar (Rajendran vd., 2003; Wei vd., 2008). Bir düğüm gerçek iletme başlamadan önce PDTP'yi kullanarak planını duyurması gerekmektedir. PDTP komşuların tutarlı plan bilgilerini tutar ve planları periyodik olarak güncelleme işlemini yerine getirir. USA protokolü KP ve PDTP'den elde ettiği bilgileri kullanarak çakışma olmadan iletişimde başarılı olmak için uygun iletilicileri ve alıcıları seçmektedir. USA trafik bilgilerini kanalın verimli kullanımını arttırmak için kullanılmaktadır. Zaman senkronizasyonu periyot süresince yapılabilmektedir. KP komşuluk bilgilerini rastgele erişim periyodu sırasında küçük sinyal paketlerinin değiş tokuşu ile toplamaktadır. TRAMA protokolü diğer benzer protokollerle karşılaştırıldığında gecikme daha fazla olmaktadır.

2.2.5. P-MAC

P-MAC (Pattern Medium Access Control- Modelli Ortam Erişim Kontrolü) protokolü CSMA tabanlı bir protokoldür. P-MAC protokolünde sabit uyuma uyanma yerine algılayıcı düğümlerin uyanıp uyumasına uyarlamalı olarak karar verilmektedir. Düğümlerin kendi trafiğine ve komşularının trafiğine bakılarak planlara karar verilmektedir. P-MAC, S-MAC protokolü gibi zaman dilimli bir protokoldür. P-MAC protokolünde bir düğüm bir zaman dilimi süresince uyku veya uyanık durumda olabilir (Kredo ve Mohapatra, 2007; Zheng vd., 2005). Şekil 7'de S-MAC T-MAC ve P-MAC protokollerinin algılayıcı ağda trafik olmadığı durumda boşa dinleme periyodunun uzunluğunu göstermektedir.



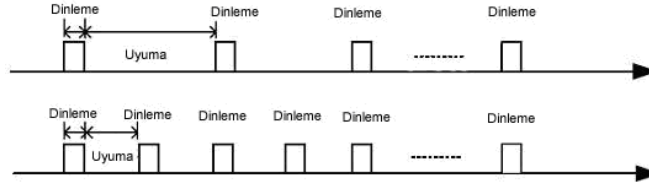
Şekil 7. S-MAC, T-MAC, P-MAC karşılaştırması

P-MAC protokolünde bir algılayıcı düğüm komşularındaki aktivite hakkındaki bilgileri, desenlerini elde etmeden önce alır. Bu desenlere bağlı olarak ağda trafik olmadığı zaman bir algılayıcı düğüm birkaç zaman dilimi için kendini uzun bir uykuya koyar. Komşusunda bir aktivite olduğu zaman bunu bu desenler aracılığıyla bilir ve gerektiğinde uyanır. Uyuma-uyanma deseni bitlerin string olarak gösterilmesi şeklindedir ve birçok zaman diliminde algılayıcı düğüm için geçici uyku-uyanma planını gösterir. String'te bulunan 1 değeri bir zaman dilimi süresince düğümün uyanık duracağını gösterir, 0 ise düğümün uyku durumunda olacağını gösterir (Zheng vd., 2005; Czapski, 2006). Örneğin bir düğüm için 001 deseni geçici planında 2 ardışık zaman diliminde uyku durumunda olacağını ve 3. dilimde ise uyanık olacağını göstermektedir. Desen değiş tokuşunun sağlanabilmesi için, zaman Süper Zaman Çerçevesi (STÇ)'ye bölünmüştür. Her STÇ, düğümün geçici uyku uyanma planını içermektedir. Her STÇ 2 alt çerçeveye sahiptir. Birincisi Desen Tekrarlama Zaman Çerçevesi (DTZÇ) olarak adlandırılır ve her düğüm kendi o anki planını tekrarlıyorsa kullanılmaktadır. STÇ'nin ikinci alt çerçevesi Desen Değiş Tokuş Zaman Çerçevesi (DDTZÇ) olarak adlandırılır. Buda komşu düğümler arasında yeni desenlerin değiş tokuşu yapıldığında kullanılmaktadır. DDTZÇ birçok zaman dilimine bölünmektedir. Belirli bir DTZÇ süresince en son oluşturulan desen, sonraki DTZÇ'nin deseni haline gelir ve bu komşulara DDTZÇ süresince yayınlanır. Eğer bir düğüm DDTZÇ süresi sırasında komşularından herhangi birinden yeni desen almazsa, onların eski planlarını tekrarlar. DDTZÇ'deki zaman dilimleri sayısı bir algılayıcı düğümün sahip olabileceği maksimum komşu sayısına göre ayarlanmaktadır.

2.2.6. DSMAC

DSMAC (Medium Access Control With A Dynamic Duty Cycle For Sensor Networks- Algılayıcı Ağlar İçin Dinamik Görev Çevrimli Ortam Erişim Kontrolü) protokolü S-MAC protokolünden esinlenmiştir. DSMAC, iki performans metriği arasında fazla ek yüke maruz kalmadan iyi bir değiş tokuş sağlamaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Lin vd., 2004). Ayrıca DSMAC uygulama gereksinimlerinin önceki bilgilerine ihtiyaç duymadan değişen trafik koşullarındaki görev çevrimlerini ayarlayabilmektedir. Daha belirgin olarak, uygulamaya bağlı olarak, bir algılayıcı öncelikle bir tarama fazı uygular, algılayıcı belirli bir periyot kanalı dinler, eğer varsa bir SYNC paketi tarafından içine alınmış var olan uyuma-uyanma planını benimsemeye çalışır. Fakat eğer periyodun sonuna kadar bir SYNC paketi alınmaz ise, algılayıcı düğüm kendinin komşuluktaki ilk aktif algılayıcı olduğunu varsayar ve özgürce planı seçer. Sonra düğüm mevcut düğümleri, kendi planını SYNC paketlerinin her yöne periyodik yayın yapmasıyla bilgilendirir. Her düğüm komşu düğümleri için bir senkronizasyon tablosu tutar. Uyuma uyanma planına karar verildiği zaman, her düğüm saat senkronizasyon bilgilerini içeren SYNC paketlerini her yöne yaymaya başlar. Ne zaman bir düğüm bir SYNC paketi duyarsa, kendi senkronizasyon tablosunu günceller ve kendi zamanlayıcısını SYNC paket oluşturucusuna göre ayarlar. Alıcı düğümün ortalama gecikmesi

o anki SYNC periyodunda toplanan bütün bir hop gecikme değerlerinin ortalama değeridir. Bu ortalama gecikme değeri alıcı düğümler için o anki trafik koşullarının yaklaşık tahmininin yapılmasını ve parametreleri gösterme hizmetini yapma imkânı vermektedir. DSMAC protokolü çift evreli ayarlama modülü kullanmaktadır. Bunun dışında her alıcı düğüm ayrıca kendi enerji tüketim verimliliği ve ortalama gecikmenin kaydını tutmaktadır. Şekil 8'de DSMAC mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. DSMAC mimarisi

Ayrıca SYNC paketinde, SYNC görev çevrimi başlatıcısını gösteren yeni bir alan yer almaktadır. Düğüm SYNC paket yoluyla senkronizasyon bilgilerine ek olarak o anki görev çevrimini de her yöne yayımlar. Komşu algılayıcı düğümlerden SYNC paketini duyanlar kendi kuyruklarını kontrol ederler ve eğer gönderecek bir pakete sahiplerse ve SYNC paketindeki belirtilen görev çevrimi var olan plandan daha büyükse, kendi görev çevrimini ikiye katlarlar. Aksi takdirde eğer yeni bir plansa alıcı kendi plan tablosunu günceller. DSMAC protokolünün sunduğu ek yük ise SYNC paketlerinde var olan ekstra görev çevrimi alanı ve ihmal edilebilen veri paketleri için gecikme alanı içermesidir.

2.2.7. O-MAC

O-MAC (Organized Medium Access Control-Organize Ortam Erişim Protokolü) protokolü SMAC protokolünden esinlenmiştir. O-MAC protokolünün amacı ağın ömrünü ana enerji tüketim nedenleri olan çakışma, istem dışı alım ve gereksiz dinlemeden kaçınarak uzatmaktır. O-MAC çakışma tabanlı bir protokoldür. Bu protokolün tasarımı 2 ana fikirden oluşmaktadır (Nait-Abdesselam vd., 2007). Birinci olarak çekişen komşu düğümlerin olabilecek çakışmasını önlemek için CSMA protokolü üzerinde bölgesel olarak zamanı belirli algoritma benimsenmiştir. İkincisi ise iletimin olduğu çevrede bulunan ve gönderilen veri ile ilgisi bulunmayan düğümler bu iletim esnasında uyku durumuna geçebilirler ve uyku durumuna geçmeden tüm çevredeki diğer düğümleri bilgilendirerek onların kendine atık paket yollamasını bu süre içinde önleyebilirler. O-MAC protokolünde iki tane yeni kontrol paketi sunulmaktadır ve bu düğümlerin bütün düğümler için kanal rezervasyonunu doğrulamaktadır. Bu sayede RTS ve CTS paketlerinin çakışmasından dolayı uyku moduna geçen düğümlerin bu işlemini önlenmektedir. O-MAC protokolünde bir iletimin çevresinde bu iletişime gereksinim duymayan düğümlerin uyku moduna geçmeleri ile enerji korunumunu gerçekleştirilmektedir. Buda algılayıcı ağ kurulurken başarılabilir. Bu aşamada her düğüm komşularının bir tanımlayıcısını (id) elde edebilmekte ve bunları tanımlayıcıya bakarak sıralayabilmektedir. Çevredeki herhangi bir düğüm iletim ve alım durumlarında kanala erişim için düğüm tanımlayıcı tabanlı bir plan algoritmasına uymaları gerekmektedir. Bu tanımlayıcı, algılayıcı düğümün MAC adresi için bir örnek veya herhangi başka bir tanımlayıcı olabilmektedir. Klasik RTS/CTS kontrol paketlerinin yerine, iki tane yeni kontrol paketi tanımlanmıştır. Birinci kontrol paketi OTS (Order To Sleep-Uyku Talimatı) olarak adlandırılmış ve veri paketi iletecek düğüm tarafından veya bu veri paketini alacak alıcı tarafından gönderilmektedir. Bir kanala erişmek üzere iletili tarafından bir OTS gönderildiği

zaman, paket komşuların listesini ve peşi sıra gelen verilerin sürelerini içerir. Bu şekilde, gönderici komşularının sayısını ve OTS'nin alıcılarının uyku moduna geçme taleplerini duyurmasının hangi sırada olacağını belirtmiş olur. Bu yayınlama işlemi uyku modunun periyodunun süresini içeren NTS (Node To Sleep-Düğüm Uykuya) paketi gönderilerek yapılır.

2.2.8. AEEMAC

AEEMAC protokolü S-MAC protokolünden esinlenmiştir (Roy ve Sarma, 2011). KAA'da en fazla enerji tüketiminin olduğu alanlardan bir tanesi olan boşta dinleme olayı SMAC protokolü gibi AEEMAC protokolünde de görev çevrimi boşta dinlemeden kaçınılmak için kullanılmaktadır. Bunun yanında bu protokol MAC katmanında daha fazla enerji verimi elde etmek için üç ek iyileştirme kullanılmaktadır. Bu iyileştirmeler uyarlamalı uyku ve kanalın tekrar kullanılması, birleştirilmiş SYNC-RTS kontrol paketinin kullanımı, iki yönlü veri ulaşımı içerisinde birleştirilmiş ACK-RTS kontrol paketini kullanımı olarak tanımlanabilmektedir.

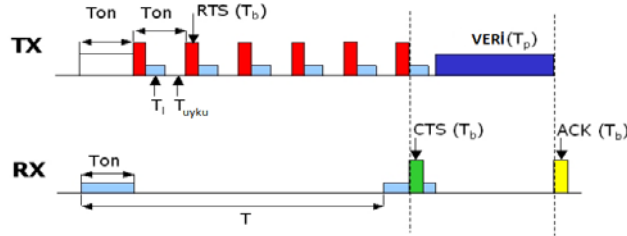
2.2.9. STEM

STEM (Sparse Topology and Energy Management-Seyrek Topoloji ve Enerji Yönetimi) karşılaşma tabanlı protokollerdendir. STEM kapasite korunumu için çalışmaz, böylece büyük enerji korunumu sağlar ve yönlendirme bundan etkilenmez. STEM düşük güç tüketimli bir radyo yerine düşük görev çevrime sahip bir radyoya sahiptir (Kredo ve Mohapatra, 2007; Schurgers vd., 2002). Bu protokolda en önemli olay algılayıcı düğümlerin bağımsız bir şekilde uyuma moduna geçebilmeleridir. STEM protokolünde enerji korunumunu, uyku modunda olan bir komşu düğüme kısa bir mesajla ve düşük güç harcayarak uyanmasını sağlamak şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bir düğüm komşunu iki şekilde uyandırabilir bunlar bir işaret sinyali mesajı gönderilmesi (STEM-B) veya uyanma tonu ile mümkündür (STEM-T). İletişime geçmek isteyen başlatıcı düğüm, hedef düğüm olarak adlandırılan düğümü uyandırmaya çalışmak için o düğümün id'siyle bir sinyal yollar. Hedef düğüm sinyal alır almaz başlangıç düğümüne karşılık verir ve her ikisi bu noktada radyolarını açık tutar. Her iki düğümde radyolarını açmak için bir bağlantı kurduklarında bağlantı aktiftir ve sonraki paketler için kullanılabilir. Güncel veri iletiminin uyandırma protokolü ile karışmaması için STEM bunları farklı frekans bandında, her bir bantta farklı bir radyo kullanarak göndermektedir. STEM ile ilgili olarak bir yaklaşım ise ana radyolarını açmış olan düğümleri uyandırmak için ayrı sayfalama kanalının kullanılmasıdır. Buna rağmen, sayfalama kanalı radyosu bazı nedenlerden dolayı uyku moduna konulamamaktadır. Bu yaklaşımda düzenli veri iletişimi için kullanılanlara göre sayfalama kanalı daha düşük güçtedir. STEM sayfalama kanalını düşük güç tüketimli bir radyo yerine, düşük görev çevrim radyolu bir radyoya sahip olarak canlandırmaktadır.

2.2.10. TICER ve RICER

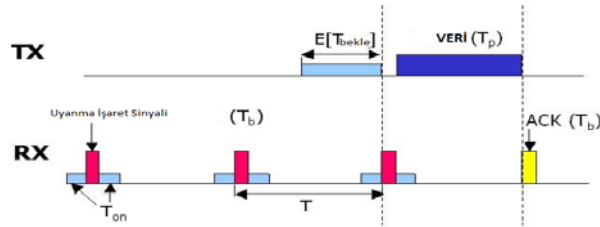
TICER (Transmitter Initiated Cycled Receiver- Çevrimsel Alıcıyı Başlatan İletici) protokolü STEM-B durumuna benzer çalışmaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Lin vd., 2004). Bir algılayıcı düğüm iletim için veri paketine sahip değilse, kanalı izlemek için T periyoduyla uyanır ve uyanma süresi tonundan sonra tekrardan uyku moduna döner. Eğer düğümün, protokol yığınının üst katmanında oluşturulan veya başka bir düğüm tarafından yönlendirilen bir gönderecek paketi olursa uyanır ve ton süresi kadar kanal izlemesi yapar.

Eğer kanalda devam eden bir iletim duymazsa hedef düğüme RTS sinyali göndermeye başlar ve her RTS iletiminden sonra cevap için belirli bir süre kanalı izler. Kendi uyanma planına göre uyanan hedef düğüm, hemen RTS alır ve CTS ile kaynak düğüme karşılık verir. CTS sinyali alındığında kaynak düğüm veri paketini iletmeye başlar. Veri paketinin doğru bir şekilde alınmasından sonra hedef düğüm kaynak düğüme oturumun bitiğini bir ACK sinyali göndererek haber verir. Şekil 9'da TICER mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 9. TICER mimarisi

RICER (Receiver Initiated Cycled Receiver- Çevrimsel Alıcıyı Başlatan Alıcı) TICER planına benzer şekilde bir algılayıcı düğümün iletecek paketi yoksa T periyodunda uyanır. Sonra uyanık olduğunu bildirmek için uzunluğu belli olan kısa uyanma işaret sinyali yollar ve belirli bir süre cevap için kanalı izler. Eğer cevap yoksa düğüm tekrar uyku moduna geçer. İletecek veriye sahip olan kaynak düğüm uyanık kalır ve hedef düğümden bir uyanma sinyali bekleyerek kanalı izler. Cevabı aldığı anda veri paketini iletmeye başlar. Oturum veri paketini doğru bir şekilde aldıktan sonra hedef düğümün kaynak düğüme ACK yollamasıyla bitirilir. Şekil 10'da RICER mimarisi gösterilmektedir.

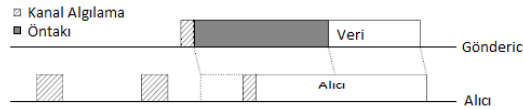


Şekil 10. RICER mimarisi

2.2.11. B-MAC

B-MAC (Berkeley Medium Access Control Protocol- Berkeley Ortam Erişim Kontrol Protokolü) CSMA tabanlı bir protokoldür. B-MAC düşük güç işlevini sağlamak için, uyarlanabilir öntakı örnekleme planı kullanmaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Polastre vd., 2004). Bu sayede görev çevrimini ve boşta dinlemeyi azaltmaktadır. B-MAC çalışma esnasında tekrar konfigürasyonu desteklemekte ve performansı optimize etmek için çift yönlü arayüz sağlamaktadır. B-MAC protokolü mesaj transferi için çok uzun öntakı kullanmaktadır. Öntakının büyük olması ve transferi ile enerji korunumu, gecikme açısından optimum değiş-tokuş ortaya çıkmaktadır. B-MAC CCA (Clear Channel Assesment-Temiz Kanal Görevlendirmesi), kanal çözümülemesi için paket geri çekilmesi, güvenlik için bağlantı katmanı alındı bilgilendirmesi, düşük güç iletişimi için düşük güç dinleme planını kullanmaktadır. B-MAC bir arayüz kümesine sahiptir. Bu arayüzler standart mesaj arayüzüne ek olarak operasyonları ayarlama imkânı vermektedir. Bu arayüzler CCA, ACK, geri çekilme

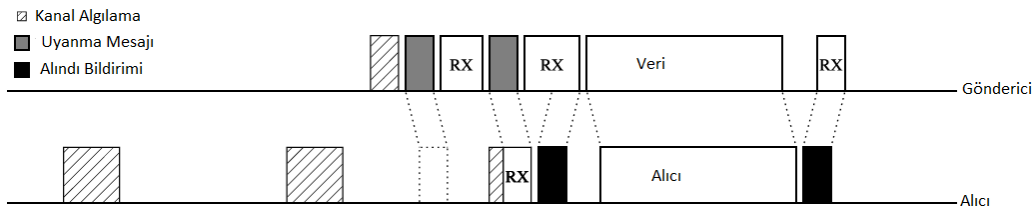
ve LPL gibi B-MAC mekanizmasının içerdiği durumlar için ağ servislerine ayarlama izni vermektedir. Çevreye bağlı olarak değişen gürültü ortamı için B-MAC yazılımsal otomatik kazanım kontrolünü uygulamaktadır. Eğer 5 örnek alınır ve aykırı bir değer bulunmaz ise kanal meşguldür (Polastre vd., 2004; Raymond vd., 2009). Eğer CCA etkinse, B-MAC paket gönderirken başlangıç kanal gecikmesini kullanmaktadır. B-MAC geri çekilme zamanını ayarlamaz bunun yerine paket gönderen servise MacBackoff arayüzüyle bir olay sinyalleri. Servis bir başlangıç geri çekilme zamanı döner yâda sinyellenen olayı yoksayar. Eğer yok sayarsa, küçük rastgele geri çekilme kullanılmaktadır. Başlangıç geri çekilmesinden sonra, CCA aykırı değer algoritması çalışmaktadır. Kanal temiz değilse, bir olay tıkanıklık geri çekilme zamanı için servisi sinyaller. Eğer geri çekilme zamanı verilmezse, küçük rastgele geri çekilme kullanılmaktadır. B-MAC'te kullanılan teknik Alohadaki öntakı örneklemeye benzer fakat farklı radyo karakteristiğine uygun hale getirilmiştir. B-MAC protokolünde enerji kullanımını azaltmak için sinyal kuvvetinin kullanımına yönelik bir eşik değeri belirlenir. Güvenli bir şekilde veri almak için, başlangıç öntakısı uzunluğu kanalda aktivite olup olmadığını anlama aralığına eşlenir. Geleneksel kablosuz ağlarda bulunan gizli terminal problemi bu protokolünde problemlerinden bir tanesidir. Şekil 11'de B-MAC protokolünün iletim şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.11. B-MAC Veri transferi

2.2.12. CSMA-MPS

CSMA-MPS (CSMA With Minimal Preamble Sampling- CSMA ile Minimum Öntakı Örnekleme) protokolünde B-MAC protokolünde bulunan gecikme ve enerji konusu geliştirilmiştir (Kredo ve Mohapatra, 2007; Mahlknecht ve Böck, 2004). CSMA-MPS protokolü çok verimli uyanma mekanizması kullanmakta ve bu sayede düşük enerji tüketimini optimize eden bir MAC protokolü olarak karşımıza çıkmaktadır. CSMA-MPS, STEM tipi protokollerinin uyanma mekanizmalarının verimliliğini arttırmak için geliştirilmiş ve bu işlem her iki protokolün en iyi özelliklerinin birleştirilmesiyle sağlanmaya çalışılmıştır. CSMA-MPS protokolü STEM protokolünün alternatif iletim ve alımını kullanmakta ve bunları daha verimli uyanma özelliğiyle birleştirmektedir. Alternatif iletim ve alım kullanmak en kötü durum uzunluğu ile bir öntakı gönderme ihtiyacı olmaksızın neredeyse anında senkronizasyona izin vermektedir. Şekil 12'de CSMA-MPS veri transferinin nasıl yapıldığı gösterilmektedir.



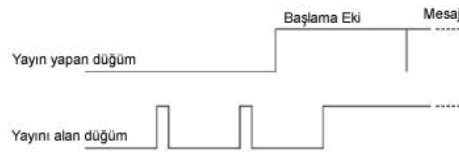
Şekil 2.12. CSMA-MPS Veri transferi

STEM-B ve TICER protokollerine benzer şekilde uzun öntakı göndermek yerine kaynak düğümler küçük kontrol mesajları göndermekte ve alıcıdan bir cevap var mı diye hattu

dinlemektedirler. Komşularından birisiyle iletişime geçmek isteyen bir düğüm, komşularının örnekleme planına sahip olabilir veya olamayabilir. Eğer sahip değilse hemen CSMA algoritması başlatılır, diğer durumdaysa eğer bir saat tahmini varsa alıcı kendisinin periyodik dinleme aralığına başlamadan hemen önce taşıyıcının doğru zamanda algılamaya başlaması için bir kaç zaman geriye gönderilmektedir. Örnekleme planı ve son senkronizasyonun zamanı bilindiğinde, kaynak örnekleme planını bekler ve minimum boyutlu uyanma dizisiyle ile aynı zamanda uyanma veri mesajı dizisi gönderir. Bu protokolde ağ genelinde senkronizasyon ve periyodik yerel senkronizasyon mesajı gerekmez. Sadece mesajlar değiş tokuş edildiğinde, uyanma planı hem veri çerçevesinde hem de ACK çerçevesinde bulunmaktadır. CSMA-MPS protokolünde kaynak düğüme komşusunun örneklemesini belirleme imkânı verilmekte ve ACK içinde ek bir alana ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca küçük kontrol mesajları RTS ve CTS kontrol mesajları işlevini yerine getirmektedir.

2.2.13. Aloha İle Öntakı Örnekleme

Aloha ile öntakı örnekleme protokolü, ALOHA protokolünü ve öntakı örnekleme tekniğini birleştiren bir protokoldür (Abramson, 1970; Roberts, 1975). Öntakı örnekleme tekniğinin amacı, kanal boşken alıcının çoğunlukla uykuda kalmasına izin vermektir. Bu her paketin önünde belirli bir uzunlukta bir öntakı iletimi içermektedir. Bir alıcı belirli sürelerde periyodik olarak uyanır ve kanaldaki aktiviteyi kontrol eder. Eğer kanalı boş bulursa, alıcı tekrar uykuya dalar. Eğer bir öntakı tespit edilirse, alıcı uyanık kalır ve paket alınana kadar dinlemeye devam eder. Aloha ile öntakı örneklemesinin özellikleri bir araya getirildiğinde, ortamı gereksiz dinleme için harcanan zamanı azaltılabilmektedir. Uzun iletimden dolayı karşılama uzunluğu artmaktadır. Ayrıca çarpışma ihtimalide artacaktır. Herbir mesaj bir öntakı tarafından önceliklendirilmektedir. Yani gönderen düğüm, yapılmak istenen iletişimin başarılı olup olmadığını anlamak için alıcı düğümden bir cevap bekler. RX'ten TX'e dönüştürme süresinden sonra, bir mesajın başarıyla alınmasında, hedef düğüm geriye kabul mesajı gönderecektir. Gönderilen pakette bir çakışma oluşursa belirli bir süre sonra tekrar gönderim gerçekleştirilir. ALOHO protokolünün en büyük dezavantajı ortamın gereksiz yere dinlenmesidir. Burada oluşacak enerji kaybının önlenmesi için düşük güç dinleme tekniği kullanılmaktadır. Gelen mesajların örneklenebilmesi için mesajda bulunan başlık, sonraki mesajların alıcısını belirleyen bir öntakı kullanılmaktadır. Gönderilen öntakı alıcı taraf tarafından duyulmazsa, sonraki örnek gelene kadar radyo kapatılmaktadır. Öntakı örnekleme tekniği, kanal meşgul olduğunda haber veren Genie'yi uygulamanın tek yoludur. Diğer yol, sürekli dinlemede olan ikinci bir uyanık alıcıya sahip olmak olabilir. Bu ikinci alıcı çok basit olmalı ve bu nedenle sabit kullanımına izin verecek şekilde çok az güç harcamalıdır. Ortamdaki trafik tespit edildiğinde, ana alıcı uyanık olmaktadır. Dönüştürücü tarafında, mesajın başlamasında ana alıcı uyanık olabilsin diye mesaj iletimi önceliklendirilmelidir. Bu protokolün örnekleme mimarisi Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Bu protokolün, düşük trafik koşulları altında bulunan uygulamalar için daha uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 2.13. Aloha ile öntakı örnekleme mimarisi

2.2.14. X-MAC

X-MAC, B-MAC protokolünden esinlenmiştir. X-MAC enerji tüketimini ve gecikmeyi azaltmak için kısa öntakı uygulamakta ve düşük güç dinleme işlemine olanak sağlamaktadır. Öntakıda hedefin adres bilgilerini bulundurmakla hedef olmayan alıcı düğümlerin hızlıca uykuya geçmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, hedef alıcı düğüme uzun öntakıyı kesme imkânı sağlamakta ve düğüme uyanır uyanmaz tetiklenmiş öntakı kullanma imkânı tanımaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Buettner vd., 2006). Kısa tetiklenmiş öntakı yaklaşımı bütün öntakının tamamlanması için harcanan enerji ve zamanı azaltmaktadır. X-MAC kısa öntakı kullanmakta ve bu öntakıların her biri hedef adres bilgisi içermektedir. Böylece düşük güç dinleme probleminden kaçınmakta ve hedef olmayan alıcılardaki enerji korunumunu sağlamaktadır. Ayrıca kısa öntakı kullanıldığından gecikmeyi de azaltmıştır. Tek yöne yayın esnasında B-MAC'e göre gecikme, verim ve güç tüketimi alanlarında daha iyi sonuçlar vermektedir. İstem dışı dinlemeden doğan enerji kayıpları azaltılmıştır. Her noktaya yayında B-MAC'le aynıdır. X-MAC protokolünün KAA'lardaki görev çevrimlerindeki tasarım amaçları enerji verimliliği, basit, düşük ek yük, dağıtık uygulama, düşük gecikme, yüksek üretilen iş miktarı olarak açıklanabilmektedir. X-MAC düşük güç iletişimi olarak adlandırdığı yöntemde, kısa öntakı yaklaşımıyla, düşük güç dinleme tekniğinin avantajlarını beraber kullanarak enerji verimliliğini sağlamaya çalışmaktadır (Buettner vd., 2006; Wu vd., 2010).

2.2.15. CMAC

CMAC (Convergent Medium Access Control-Yakınsak Ortam Erişim Kontrolü) düşük görev çevrimli yakınsak MAC protokolüdür. Geleneksel uyanma planı yaklaşımı, ya periyodik senkronizasyon mesajı yada herhangi bir senkronizasyon için yüksek paket ulaştırma gecikmesine sebep olmaktadır (Sha vd., 2009). CMAC düşük gecikmeyi desteklerken senkronizasyon ek yükünden kaçınmaktadır. Trafik olmadığı zaman sıfır iletişimi kullanmasından dolayı, CMAC işlemlere çok düşük görev çevriminde izin vermektedir. Trafik oluşursa, CMAC düğümleri uyandırmak için birinci olarak her yöne yayını kullanır ve senkronize olmayan her yöne yetersiz yol görev çevriminden tek yöne en uygun yol görev çevrimine yani senkronize bir plana yakınsanır. İletilecek bir paket olmadığı zaman CMAC, BMAC protokolüne benzer şekilde senkronize olmayan uyku planı kullanmaktadır. Eğer gönderici kabul edilebilir yönlendirme metrikleri ile bir düğüme paket iletimi yapabilecek ise CMAC her noktaya yayının ek yükünden kaçmak için her noktaya iletimden tek yöne iletme yakınsanır. CMAC protokolünde uzun öntakı yerine saldırgan RTS kullanılarak uzun öntakılar parçalanmakta ve birçok RTS paketi şekline çevrilmektedir. RTS paketleri uzun öntakı kullanmamakta ve bu uzun öntakıları sabit kısa şekilde parçalayarak alıcıların geriye CTS paketi yollamasına izin vermektedir. CMAC protokolü, kanal belirlemesi için çift kanal denetimini kullanan saldırgan RTS, ileticiyi çabuk bulabilmek için her noktaya yayın ve her noktaya yayının ek yükünü azaltmak için paket iletimini yakınsama şeklinde 3 tane bileşen içermektedir.

2.2.16. CC-MAC

CC-MAC (Spatial Correlation-Based Collaborative Medium Access Protocol-Mekansal İlişki Tabanlı İşbirlikçi Ortam Erişim Protokolü) protokolünde bütünlüğe dayalı MAC protokol tasarımı yapılmıştır. Bu protokol ortam erişimini yakın konumlu algılayıcı düğümler tarafından oluşturulan lüzumsuz iletimden korumaktadır. Mekânsal CC-MAC protokolü işbirlikçi algılayıcı düğüm iletimini regüle etmekte ve bozulma kısıtlaması bir olay hakkında

bilgi gönderen düğümlerin sayısı azalsa bile başarılılabilmektedir (Kredo ve Mohapatra, 2007; Vuran vd., 2006). Düğümlerin yerleri zekice seçilerek, bozulma azaltılabilmektedir. Bu amacı sağlamak için, INS algoritması baz istasyonunda yer alan, bozulma kısıtlaması için ilişki çapına karar vermektedir. Daha sonra bu bilgi ağ kurulumu esnasında her bir algılayıcı düğüme her yöne yayım ile gönderilmektedir. Her bir algılayıcı düğüme uygulanan CC-MAC protokolü dağıtık bir MAC yapısı kullanmaktadır (Vuran vd., 2006; Alippi vd., 2009). CC-MAC KAA'da gereksiz bilgi akışını durdurmak için ilişki yarıçapını kullanmaktadır. Belirli bir kaynak düğüm kendi olay kaydını baz istasyonuna ilettiğinde, onun bütün ilişkili komşuları bozulma kısıtlamasına bağlı olarak gereksiz bilgiye sahip olmaktadır. Bu gereksiz bilgi, eğer gönderilirse KAA kaynaklarını harcamaya ek olarak ilişki bölgesindeki toplam gecikmeyi ve çekişmeyi arttırmaktadır. Mekansal CC-MAC protokolü baz istasyonuna filtrelenmiş veriyi öncelikli olarak iletme ve böylece gereksiz bilgi iletimini önlemeye çalışmaktadır. KAA'da algılayıcı düğümlerinin veri üretme ve yönlendirme olmak üzere çift işlevselliği bulunmaktadır. Bundan dolayı ortam erişimi iki nedenden gerçekleşir. CC-MAC protokolü kaynak ve yönlendirme fonksiyonelliğine bağlı olarak iki bileşen içermektedir. E-MAC (Event MAC-Olay MAC) ilişkili kayıtları filtrelemekte ve N-MAC (Network MAC-Ağ MAC) yönlendirilen paketlerinin önceliklendirilmesini garanti etmektedir. Daha belirgin olarak bir düğüm E-MAC'i kendi algılama okumasını baz istasyonuna iletmek istediği zaman kullanırken, N-MAC'i paket alıp onu sıradaki hopa iletmeye çalışınca kullanmaktadır.

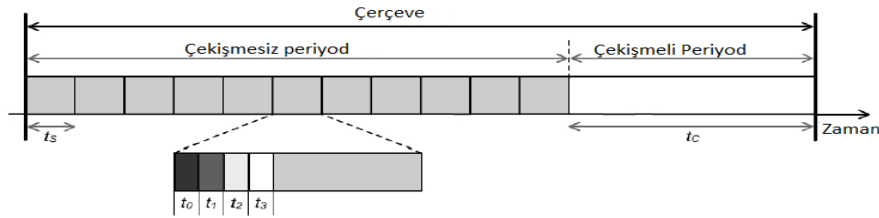
2.2.17. Z-MAC

Z-MAC (Zebra Medium Access Control-Zebra Ortam Erişim Protokolü) hibrid yapıda olan bir MAC protokolüdür. Z-MAC protokolü algılayıcı düğümlere zaman dilimi atamaktadır. Düşük trafik yoğunluğunda CSMA gibi, yüksek trafik yoğunluğunda TDMA gibi davranmaktadır (Kredo ve Mohapatra, 2007; Rhee vd., 2005). TDMA'nın aksine, algılayıcı ağlarda görülen dinamik topoloji değişimlerine karşı ve zaman senkronizasyon kararsızlığına karşı dayanıklıdır. Ayrıca CSMA'nın aksine çok düşük ek yüklü gizli terminalleri idare etmektedir. DRAND eski ölçeklenebilir kanal planlama algoritması kullanılmaktadır. DRAND RAND'ın ilk dağıtık uygulamasıdır. DRAND merkezi kanalın yeniden kullanımı için kullanılan bir planlama algoritmasıdır. Uygulanan planda iki hop komşuların aynı dilim numarasına atanmadığından emin olunması gerekmektedir. Dilim atamasından sonra, her düğüm kendi atanmış dilimini periyodik olarak önceden belirlenmiş periyotta yeniden kullanır. Dilim başına birden fazla dilime sahip olabilmektedirler. Çünkü DRAND iki hoptan fazla ayrılan iki düğüme aynı dilime sahip olma imkânı tanımaktadır. CSMA'da olduğu gibi bir düğüm bir dilimde iletimden önce, her zaman hattı kontrol eder ve kanal temizse paket gönderir. Buna rağmen dilimin sahibinin kanal üzerinde ötekilere göre önceliği bulunmaktadır. Bu öncelik başlangıç geri çekilme periyodu ayarlanarak uygulanmaktadır. Daha yüksek önceliğe sahip düğüm daha kısa geriçekilme periyoduna sahip olmaktadır. Z-MAC'de bir düğüm açık bir şekilde ağ çekişmesinin o anki durumuna bağlı olarak iki operasyon modu arasında değiştirme yapabilmektedir (Rhee vd., 2005; Wang vd., 2006). Düşük çekişme altında sahibi olmayanlar düşük öncelikli dilim için rekabet etmeye izin verilir. Bu mod düşük çekişme seviyesi olarak adlandırılır. İki hop üzerinde yüksek çekişme altında gizli terminal problemi ortaya çıkabilmektedir. Düğüm daha fazla veri çekişmesi meydana gelirse modunu yüksek çekişme seviyesi olarak ayarlamaktadır. Bu modta dilime sahip olmayanlara karşı gizli terminal olarak hareket edilmez. Z-MAC iki hop komşuluktaki göndericiler arasında sadece yerel saat senkronizasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Z-MAC protokolünün B-MAC protokolüne benzer avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Z-MAC protokolünün dezavantajı ise performansı CSMA'nın gerisinde olmasıdır. Diğer protokollerle

kıyaslandığında Z-MAC protokolünün bir kaç işlem ve bellek kaynağına gereksinimi bulunmaktadır.

2.2.18. ER-MAC

ER-MAC (Sitanayah vd., 2010) KAA için karma bir MAC protokolüdür. ERMAC tasarımı TDMA ve CSMA protokollerinin karması şeklindedir. Bu sayede trafik ve topoloji değişiklikleri için esnek bir uyarılma sunabilmektedir. TDMA yaklaşımında çakışma olmayan zaman dilimi planını benimsemektedir. Düğümler kendilerinin planlanan dilimleri için uyanırlar, fakat diğer durumlarda güç korunumu için uyku moduna geçerler. Acil durum kontrolüne katılan düğümler MAC davranışlarını değiştirebilirler. Bunu da yüksek ulaştırma oranı ve düşük gecikme için TDMA dilimlerinde çakışmaya izin vererek gerçekleştirmektedirler. ER-MAC protokolü düğümlerin ağa girmesi ve çıkması için senkronize ve seyrek dilim yapısı sunmaktadır. ER-MAC protokolü başlangıçta iletişimi CSMA/CA ile rastgele erişim mekanizmasını kullanarak yapmaktadır. Şekil 14'te ER-MAC çerçeve yapısı gösterilmektedir.



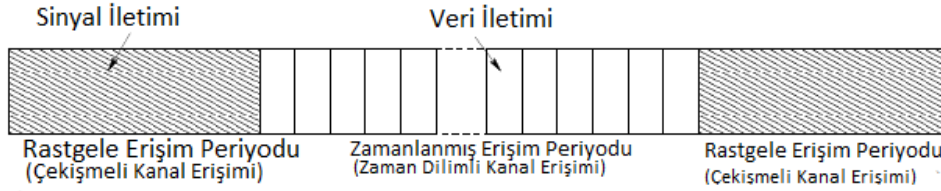
Şekil 2.14. ER-MAC çerçeve yapısı

Başlangıç aşaması sırasında veri toplama ağacı ve TDMA planları oluşturulur. Topoloji keşfinde baz istasyonu basit akış mekanizmasını kullanarak ağaç yapısını başlatır. Bu protokolün topoloji keşfinin amacı yalnızca yönlendirme ağacı kurmak değil, ağaçtaki komşuları ve değişiklikleri izlemektir. Her düğüm baz istasyonuna olan sekme sayısı, üst üye id'sini, alt üye listesini ve bir hop komşu listesini tutmaktadır. TDMA dilim ataması aşamasında düğümler dilim ataması ve plan değişikliği yaparlar böylece 2 hoplu komşuluk içerisindeki 2 düğüm aynı dilimi kullanmamış olmaktadır. TDMA dilim ataması aşağıdan yukarıya yaprak düğümlerin dilim atamasını başlattıkları bir yaklaşım takip eder. Yaprak düğümlerden dilim ataması başlatma, mesaj akışını baz istasyonuna veren bir iletim planlamasına sahip olmalıdır. Baz istasyonu hariç yaprak olmayan düğümler kendi verisini göndermek için tek yönlü dilim, alt üyelerin verisini iletmek için bir çok dilim ve alt üyelerini senkron yapmak için her noktaya yayın dilimi atamadan önce bütün alt üyelerin planlarını bekler. Bu dilim atama aşaması, baz istasyonu bütün alt üyelerinden plan bildirme mesajı aldıktan sonra biter. Baz istasyonu ilk senkronizasyon mesajını göndererek TDMA'ya geçiş yapar. Alt üye mesajı aldığı anda TDMA'ya geçer ve kendi çocuklarını her noktaya yayın dilimi kullanarak senkronize eder.

2.2.19. FLAMA

FLAMA (Flow-Aware Medium Access Protocol-Akış Farkında Ortam Erişim Protokolü) enerji verimliliğini paket almaya hazır olmayan düğümün gereksiz dinleme, veri çakışması ve iletişimi engelleyerek başarmaktadır (Rajendran vd., 2005; Abdur Razzaque vd., 2009). Bu

protokol ortama erişim planlarının uygulama tarafından sergilenen trafik akışına uyarlamaktadır. FLAMA algılayıcı ağ uygulamalarında güçlü trafik öngörüsünü sağlayabilmek için kullanılan plan tabanlı bir MAC protokolüdür. FLAMA akış kavramını uygulamaların trafik modellerini karakterize etmek için kullanır. FLAMA iletim planını belirlemek için akış tabanlı trafik bilgilerini kullanır, hem de bu bilgileri düğümlerin ne zaman alıcı moda olacağına veya düşük güç uykü durumuna geçişini belirlemek için kullanır. FLAMA'nın ana özelliği, enerji verimli kanal erişimi için basit uyarlamalı trafik ve dağıtık seçim planı kullanmasıdır. Bu seçimi gerçekleştirmek için 2 hop komşuluk ve komşuluk akış bilgilerine gereksinim duymaktadır. İki hop komşuluk bilgilerini kullanmak FLAMA protokolünü ölçeklenebilir yapmaktadır. Veri ve sinyalleşme için tek kanal varsayımı yapılmaktadır. Fakat FLAMA birçok kanal kullanımına kolayca adapte olabilmektedir. Kanala erişim rastgele erişim sırasında çakışma tabanlı, planlı erişim periyodu sırasında zaman dilimli şekilde olmaktadır. Rastgele erişim sırasında komşu keşfi, zaman senkronizasyonu ve tam trafik bilgileri değiş tokuşu gerçekleştirilmektedir. Veri iletişimi planlı erişim sırasında olmaktadır. Şekil 15'de FLAMA zaman organizasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.15. FLAMA zaman organizasyonu

Rastgele erişim periyotlarının kullanımı FLAMA protokolüne ağdaki trafik değişikliklerine ve topolojiye uyarlama izni vermektedir. FLAMA planlı erişim periyotları sırasında tam planı duyurma gereksinimi yoktur. FLAMA düğüm tarafından oluşturulan trafik miktarına bağlı olarak düğüme zaman dilimi vererek trafik uyarlanırlığını başarmaktadır. Daha fazla veri yönlendiren veya üreten düğümler için daha fazla zaman dilimi kullanılmaktadır.

2. KARŞILAŞTIRMA

KAA'lar için enerji verimliliği çok önemli ve gerekli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Detaylı olarak açıklanan MAC protokolleri incelendiğinde enerji verimliliği konusunun önemi daha rahat anlaşılmaktadır. Detaylı açıklanan protokollerin hepsi bir şekilde enerji verimliliği sağlamaktadır. Bu enerji verimliliği için ilgili protokoller bir çok değişik mekanizma kullanmışlardır. Çizelge 1'de detaylı olarak açıklanan protokollerin bazı parametreler bazında karşılaştırılmaları yapılmıştır.

KAA'larda MAC katmanında gerçekleştirilen protokollerin çoğunluğunun ortama erişim protokolü olarak CSMA yöntemini benimsedikleri Çizelge 1'de görülmektedir. Bazı protokoller ağda kendi planlarını veya elde ettikleri planlar ile senkronizasyonu sağlayarak enerji verimliliği sağlamışlardır. Karşılaştırmada protokollerin enerji verimliliği için kullandıkları planları ve bu planların değiş tokuş yapıp yapmadıklarını anlamak içinde bir parametre kullanılmış ve analiz sonuçları gösterilmiştir. Bu protokollerin çoğunluğunun benzetimi bulunmakta ancak uygulamaları bulunmamaktadır. Benzetim ile uygulama sonuçları genel olarak paralel çıkmakla birlikte aynı çıkmamaktadır. Benzetimi olan

protokollerin uygulamalarında olmuş olsa önerilen protokolün uygulanabilirliği gerçek ortamda test edilmiş olacaktır. Buda bu konu ile ilgilenen kurum ve araştırmacılar için daha kesin bir bilgi ve tahmin imkanı sunacaktır. Bu çalışmada protokoller iki kısma ayrılmıştır. Bunlar, enerji verimliliğini öntaki kullanarak sağlamaya çalışan protokoller ve kullanmadan sağlamaya çalışan protokoller olarak açıklanabilmektedir. Algılayıcı ağlar için önemli sayılan bu konu ile ilgili bir karşılaştırma parametresi kullanılmıştır. Bu sayede MAC katmanında hangi protokolün nasıl bir yöntem izlediği anlaşılmaktadır. Ayrıca kontrol paketleri olarak sadece RTS ve CTS kabul edilmiş ve bu kontrol paketlerini kullanan ve kullanmayan protokoller gösterilmiştir. En son olarak bir bütün olarak bir protokolün kendi mekanizmasını gerçekleştirirken baz aldığı ve karşılaştırdığı protokoller karşılaştırmada sunulmuştur.

Çizelge 1. Analizleri yapılan protokollerin bazı parametreler için karşılaştırma sonuçları

Protokoller	Kontrol Paketleri (RTS/CTS)	Yola Erişim Protokolü	Karşılaştırılması Nasıl Yapıldı	Öntakıda İşlem	Planlı mı Değil mi	Uygulama	Benzetimi
IEEE 802.15.4	Kullanmıyor	CSMA	Kendi versiyonları(Görev çevrimleri)	Yapmamış	Plansız	Var	Var
PAMAS	RTS, CTS	CSMA	Matematiksel İspat	Yapmamış	Plansız	Yok	Var
S-MAC	RTS, CTS	CSMA	IEEE802.11, Overhearing Avoidance	Yapmamış	Planlı	Var	Var
T-MAC	RTS, CTS	CSMA	S-MAC, CSMA	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
TRAMA	Kullanmıyor	TDMA	NAMA, S-MAC, IEEE802.11, CSMA	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
P-MAC	RTS, CTS	CSMA	S-MAC	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
DSMAC	RTS, CTS	CSMA	S-MAC	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
O-MAC	OTS, NTS, RTS, CTS	CSMA	IEEE 802.11, S-MAC	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
AEMAC	RTS, CTS, SYNC-RTS, ACK-RTS	CSMA	S-MAC	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
STEM	Kullanmıyor	CSMA	Teori ve Benzetim	Yapmamış	Plansız	Yok	Var
TICERve RICER	RTS, CTS	Tanımlanmamış	Matematiksel İspat	Yapmamış	Plansız	Yok	Yok
B-MAC	Kullanmıyor	CSMA	S-MAC, Her Zaman Açık	Yapmış	Plansız	Var	Var
CSMA-MPS	Kullanmıyor	CSMA	TDMA, WiseMAC	Yapmış	Plansız	Var	Var
Aloha ile Öntaki Örneklem	Kullanmıyor	ALOHA	Kendi versiyonlarıyla(Regular Aloha...)	Yapmış	Planlı veya Plansız	Yok	Var
X-MAC	Kullanmıyor	CSMA	LPL	Yapmış	Planlı	Var	Var
CMAC	RTS, CTS	CSMA	CSMA, S-MAC, GeRAF, CMAC-S, Anycast, B-MAC	Yapmış	Planlı	Var	Var
CC-MAC	RTS, CTS	CSMA	TRAMA, S-MAC, IEEE 802 .11, CSMA	Yapmamış	Plansız	Yok	Var
Z-MAC	Kullanmıyor	CSMA ve TDMA	B-MAC	Yapmamış	Planlı	Var	Var
ER-MAC	Kullanmıyor	CSMA ve TDMA	Z-MAC	Yapmamış	Planlı	Yok	Var
FLAMA	Kullanmıyor	TDMA	TRAMA ve S-MAC	Yapmamış	Planlı	Var	Var

3. SONUÇLAR

Kablosuz algılayıcı düğümlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum da KAA için en önemli problemlerden bir tanesi olan enerji verimliliği problemini de beraber getirmektedir. Dolayısıyla enerji verimliliği hakkında çok fazla çalışma yapılmaktadır. Genel olarak bu çalışmada KAA konusuna çok önemli katkıda bulunmuş çalışmalar burada detaylı olarak incelenmiş ve gruplandırılarak çeşitli parametreler açısından karşılaştırmaları sunulmuştur. Bu konudaki çalışmalar devamlı olarak artmakta ve yeni yöntemler geliştirilmektedir. Hem akademik hem de endüstriyel alanda hızla gelişen ve önemi gün geçtikçe artan KAA'daki enerji verimliliğini sağlama konusu araştırmacılar için çok önemli

bir konu olduğundan bu alanda yapılan çalışmaların detaylı incelenmesi ve aralarındaki farkların sunulması, bu alanda yapılacak olan sonraki çalışmalar için bir kaynak olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya maddi destekte bulunan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abdur Razzaque M., Mamun-Or-Rashid M., Mahbub Alam M., Seon Hong C. (2009): "Aggregated Traffic Flow Weight Controlled Hierarchical MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Annals of Telecommunications*, Cilt 64, No. 11-12, s.705-721.
- Abramson N. (1970): "The ALOHA System-Another Alternative for Computer Communications", *Proceedings Fall Joint Computer Conference*, Cilt 37, s. 281-285.
- Akyıldız I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Çayırıcı E. (2002): "Wireless Sensor Networks: A Survey", *Computer Networks*, Cilt 38, s.393-422.
- Alippi C., Anastasi G., Di Francesco M., Roveri M. (2009): "Energy Management in Wireless Sensor Networks with Energy-Hungry Sensors", *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, Cilt 12, No. 2, s.16-23.
- Blumenthal J., Handy M. (2003): "Wireless Sensor Networks-New Challenges in Software Engineering", *9th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Cilt 1, s.551-556.
- Buettner M., Yee G., Anderson E., Han R. (2006): "X-MAC: A Short Preamble mac Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks", *Proc. First ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*.
- Czapski P. P. (2006): "A Survey: MAC Protocols For Applications of Wireless Sensor Networks", *TENCON 2006, 2006 IEEE Region 10 Conference*, s.1-4.
- Kredo K., Mohapatra P. (2007): "Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", *Computer Networks*, Cilt 51, No. 4, s.961-994.
- Kwon Y., Chae Y. (2006): "Traffic Adaptive IEEE 802.15.4 MAC for Wireless Sensor Networks", *Embedded and Ubiquitous Computing Lecture Notes in Computer Science*, Cilt 4096, s.864-873.
- Lin E. Y. A., Rabaey J. M., Wolisz A. (2004): "Power-Efficient Rendezvous Schemes for Dense Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Cilt 7, s.3769-3776.
- Lin P., Qiao C., Wang X. (2004): "Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Cilt. 3, s.1534-1539.
- Mahlknecht S., Böck M. (2004): "CMSA-MPS: A Minimum Preamble Sampling MAC Protocol for Low Power Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, s.73-80.
- Misra S., Mohanta D. (2010): "Adaptive Listen for Energy-Efficient Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", *Multimedia Tools and Applications*, Cilt 47, No. 1, s.121-145.
- Nait-Abdesselam F., Bensaou B., Soete T., Hung K. L. (2007): "O-MAC: An Organized Energy-Aware MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Communications-ICC'07, IEEE International Conference on*, s.3648-3653.

- Polastre J., Hill J., Culler D. (2004): "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), s.95–107.
- Pottie G. J., Kaiser W. J. (2000): "Wireless Integrated Network Sensors", Commun. ACM, Cilt 43, s.555- 558.
- Rajendran V., Garcia-Luna-Aveces J. J., Obraczka K. (2005): "FLAMA: Energy-Efficient, Application-Aware Medium Access for Sensor Networks", IEEE International Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, s.625-630.
- Rajendran, V.; Obraczka, K.; Garcia-Luna- Aceves, J. (2003): "Energy efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks", Proceedings of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), s.181–192
- Raymond D. R., Marchany R. C., Midkiff S. F. (2009): "Effects of Denial-of-Sleep Attacks on Wireless Sensor Network MAC Protocols", Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Cilt 58, No. 1, s.367-380.
- Rhee I., Warrier A., Aia M., Min J. (2005): "Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks", Proc. of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), s.90-101.
- Roberts G. L. (1975): "ALOHA Packet System With and Without Slots and Capture", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Cilt 5, No. 2, s.28-42.
- Roy A., Sarma N. (2011): "AEEMAC: Adaptive Energy Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks", India Conference (INDICON), s.1-6.
- Schurgers C., Tsiatsis V., Ganeriwal S., Srivastava M. (2002): "Optimizing Sensor Networks in the Energy-Latency-Density Design Space", IEEE Transactions on Mobile Computing, Cilt 1, No. 1, s.70-80.
- Sha L., Kai-Wei F., Prasun S. (2009): "CMAC: An Energy Efficient MAC Layer Protocol Using Convergent Packet Forwarding for Wireless Sensor Networks", Journal ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), Cilt 5, No. 4.
- Shen C., SriathaporKPhat C., Jaikao C. (2001): "Sensor Information Networking Architecture and Applications", IEEE Pers. Commn, s. 52-59.
- Singh S., Raghavendra C. (1998): "PAMAS-Power Aware Multiaccess Protocol With Signaling for Ad Hoc Networks", SIGCOMM Computer Communications Review, Cilt 28, No. 3, s.5-26.
- Sitanayah L., Sreenan C. J., Brown K. N. (2010): "ER-MAC: A Hybrid MAC Protocol for Emergency Response Wireless Sensor Networks", Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), s.244-249.
- Van Dam T., Langendoen K. (2003): "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), s.171–180.
- Vuran M. C., Akyildiz I. F. (2006): "Spatial Correlation-based Collaborative Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Cilt 14, No. 2, s.316-329.
- Wang W., Wang H., Sharif H. (2006): "An Energy Efficient Pre-Schedule Scheme for Hybrid CSMA/TDMA MAC in Wireless Sensor Networks", Communication Systems, 10th IEEE Singapore International Conference on, s.1-5.
- Wei W., Qi Y., Hou D. (2008): "Exploration of Energy Conservation MAC Protocol of WSNs for Ubiquitous Environment", Wuhan University Journal of Natural Sciences, Cilt 13, No. 4, s.509-512.

- Wu Y., Li X. Y., Liu Y., Lou W. (2010): “Energy-Efficient Wake-Up Scheduling for Data Collection and Aggregation”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Cilt 21, No. 2, s.275-287.
- Ya X., John H., Deborah E. (2000): “Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks”, Research Report 527, USC/Information Sciences Institute.
- Ye W., Heidemann J., Estrin D. (2002): “An Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (InfoCom), Cilt 3, s.214-226.
- Zheng T., Radhakrishnan S., Sarangan V. (2005): “PMAC: An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”, Proceedings of the IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, s.65-72.