

# تشریح پروتکل LEACH



## پروتکل خوشه بندی LEACH:

LEACH یک پروتکل خوشه بندی خودسازمانده است که بار انرژی را بر روی حسگرهای شبکه توزیع می کند. در LEACH گره ها خودشان را در خوشه های محلی سازماندهی می کنند، به گونه ای که یک گره در خوشه به عنوان سرخوشه عمل می کند. برای اینکه با تمام شدن انرژی گره سرخوشه، کل خوشه از کار نیفتد و عمر خوشه تمام نشود، گره های با انرژی بالا در خوشه به صورت چرخشی و تصادفی سرخوشه می شوند. به علاوه داده ها به صورت محلی با هم تجمع می گردند تا مقدار داده هایی که باید به ایستگاه پایه<sup>۱</sup> ارسال شوند و در نتیجه مصرف انرژی، کاهش یافته و عمر شبکه افزایش یابد. در این روش حسگرها خود را با احتمال مشخصی به عنوان سرخوشه انتخاب می کنند. این سرخوشه ها وضعیت خودشان را به اطلاع گره های دیگر شبکه می رسانند. هر گره بر اساس مینیمم انرژی ارتباطی یک سرخوشه را انتخاب می کند و عضو آن خوشه می گردد. زمانی که همه گره ها در خوشه ها سازماندهی شدند، هر سرخوشه یک برنامه زمان بندی برای گره های خوشه خود می سازد. گره های غیر سرخوشه براساس این برنامه زمان بندی فقط زمانی که نوبت ارسال آنها است سخت افزار رادیویی خود را روشن می سازند و در بقیه زمان ها در حالت خاموش بوده که این امر نیز باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد.

زمانی که گره سرخوشه، داده های همه اعضا را جمع آوری کرد، داده ها را تجمع نموده و داده های فشرده شده را به ایستگاه پایه می فرستند. در این روش گره ها بر اساس انرژی باقیمانده شان تصمیم می گیرند که سرخوشه بشوند یا خیر. هر گره مستقل از سایر گره ها تصمیم گیری می کند. بنابراین برای تشخیص سرخوشه مذاکرات اضافی لازم است.

## تشریح روش:

عملکرد LEACH به چندین دور تقسیم می گردد. که هر دور با یک فاز راه اندازی<sup>۲</sup> آغاز گشته و همزمان خوشه ها سازماندهی می گردند. سپس در فاز حالت پایدار<sup>۳</sup> عمل انتقال داده ها به ایستگاه

<sup>۱</sup> Base Station

<sup>۲</sup> Setup Phase

<sup>۳</sup> Steady Phase



پایه انجام می گیرد به منظور کاهش بالاسری شبکه فاز حالت پایدار در مقایسه با فاز راه اندازی طولانی تر است.

• فاز اعلان:

در ابتدا هر گره بر اساس درصد سرخوشه شدن که از قبل مشخص است و تعداد دفعاتی که گره سرخوشه شده است، تصمیم می گیرد که آیا در دور جاری سرخوشه بشود یا خیر. این تصمیم گره بر اساس انتخاب یک عدد تصادفی بین صفر و یک انجام می شود اگر عدد کمتر از مقدار آستانه  $T(n)$  باشد، گره در دور جاری سرخوشه می شود. مقدار آستانه به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$r(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که  $P$  درصد مطلوب برای سرخوشه ها است. (مثلا  $P=0/05$ ) و  $r$  مرحله جاری است و  $G$  مجموعه گره هایی است که در  $P/1$  مرحله آخر به عنوان سرخوشه انتخاب نشده اند. در مرحله صفر هر گره با احتمال  $P$  سرخوشه می گردد. گره هایی که در یک مرحله سرخوشه می شوند تا  $P/1$  مرحله بعد سرخوشه نخواهند شد، بنابراین احتمال سرخوشه شدن گره های دیگر افزایش می یابد زیرا گره های کمتری شایستگی سرخوشه شدن را دارا می باشند. بعد از  $(p-1)/1$  مرحله، برای همه گره هایی که هنوز سرخوشه نشده اند،  $T=1$  می شود و پس از  $P/1$  مرحله، همه گره ها یک بار شایستگی سرخوشه شدن را پیدا کرده اند. نسخه بعدی این کار شامل یک آستانه مبتنی بر انرژی جهت استفاده برای گره های با انرژی غیر یکنواخت است.

هر گره ای که در این مرحله خودش را به عنوان سرخوشه انتخاب کرد یک آگهی به بقیه گره ها ارسال می نماید. گره های غیر سرخوشه، آگهی های دریافتی از گره های سرخوشه را برای استفاده در فاز راه اندازی نگه می دارند. بعد از اینکه این فاز کامل شد، هر گره غیر سرخوشه یک سرخوشه را برای این مرحله انتخاب می کند. این تصمیم بر اساس قدرت سیگنال های دریافتی ناشی از



آگهی های رسیده از سرخوشه ها گرفته می شود. در صورت وجود گره (خوشه بدون سرخوشه) یک سرخوشه به صورت تصادفی انتخاب می گردد.

• فاز راه اندازی خوشه:

پس از آنکه هرگره تصمیم گرفت که به کدام خوشه تعلق دارد این تعلق را به اطلاع گره سرخوشه اش می رساند. در این فاز تمام گره های سرخوشه باید واحد سخت افزاری دریافت کننده- هایشان را روشن نگه دارند.

• ساخت برنامه زمان بندی:

گره سرخوشه پیام های اعضای خوشه را دریافت می کند و بر اساس تعداد گره های خوشه یک برنامه زمان بندی می سازد که مشخص می کند که هرگره در چه زمانی می تواند اطلاعاتش را ارسال نماید این برنامه زمان بندی به تمام گره های خوشه ارسال می گردد.

انتقال داده ها :

پس از آن که خوشه ها ایجاد شدند انتقال داده ها می تواند شروع شود با فرض اینکه گره ها همیشه داده ای جهت ارسال دارند آنها در طول زمانی که به آنها تخصیص دارد داده هایشان را به سرخوشه ارسال می کنند. این ارسال از مینیمم مقدار انرژی استفاده می کند پس از ارسال داده قطعات رادیویی هر گره غیر سرخوشه می تواند خاموش شود. گره سرخوشه باید گیرنده اش را جهت دریافت اطلاعات از گره ها در خوشه روشن نگه دارد. زمانی که همه داده ها دریافت شدند گره سرخوشه عمل پردازش سیگنال را انجام می دهد تا داده ها را به یک سیگنال واحد فشرده نماید. این عمل حالت پایدار شبکه است. بعد از یک زمان خاص که از قبل مشخص شده است مرحله بعدی شروع می شود با گره های سرخوشه ای که در فاز اعلان شناسایی گردیده اند.

### جزئیات عملکرد LEACH

عملکرد این پروتکل یک روش با قابلیت زمان بندی است که از Data gathering برای مسیریابی و جمع آوری داده (کارلایه ۳) استفاده می کند. زمان بندی مورد نظر کار لایه (MAC) است. کار LEACH بر اساس مکانیزم خوشه بندی است، یعنی گره های شبکه را گروه بندی می کنیم. به این ترتیب به هر سرخوشه کانال تخصیص می دهیم، سپس جلوی تداخل بین سرخوشه ها را می



گیریم. در هر خوشه تعدادی گره وجود دارد، اگر در شبکه یک گره وجود باشد و  $k$  تا خوشه داشته باشیم پس در هر خوشه،  $n = \frac{N}{K}$  گره وجود دارد. داخل هر خوشه یک سرخوشه وجود دارد که مسئول هماهنگ سازی عملیات بین گره‌هاست و همچنین زمان‌بندی های لازم را انجام داده سپس به همه گره‌های مجموعه خود اعلان می‌دارد که چه کسی چه موقع ارسال داده داشته باشد.

تفاوت پروتکل LEACH با بسیاری از پروتکل‌های هم‌ردیف از نظر نوع کارایی، در چگالی<sup>۴</sup> بالای شبکه است. در این پروتکل بدلیل افزایش تعداد گره حسگر و افزایش تبادلات اطلاعات گره‌ها همواره مشغول ارسال داده های حس شده می باشند. تحلیل روش مورد نظر بدین گونه است که در این پروتکل از لحاظ مصرف انرژی تا چه اندازه با تغییر در تعداد سرخوشه‌ها و گره‌های مجموعه‌های آنها می‌توانیم بهبود حاصل نماییم.

هدف اصلی کمینه کردن میزان انرژی کل شبکه است که امر با تغییر در پارامترهای دخیل در این عملکرد حاصل گردیده است. در پروتکل LEACH با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف مقدار بهینه ۵ را برای تعداد سرخوشه در یک شبکه با ۱۰۰ گره حسگر تعیین نموده اند. که بطور میانگین و در بهترین حالت هر سرخوشه شامل ۲۰ گره حسگر در خوشه‌اش می باشد.

از آنجایی که سرخوشه انرژی بیشتری مصرف می‌کند پس با فرض همگن بودن گره‌ها، اگر یک گره تا آخر در این وضعیت باشد، انرژی‌اش به زودی به اتمام خواهد رسید. این اتمام انرژی خارج از برنامه‌های در نظر گرفته شده موجب از کار افتادن کل خوشه خواهد شد، چرا که در پروتکل LEACH هر گره تنها و تنها با سرخوشه خود در ارتباط خواهد بود. برای جلوگیری از این رخداد با تعویض نقش سرخوشگی و توزیع این نقش در بین تمامی گره‌ها در هر دور<sup>۵</sup> یک توازن<sup>۶</sup> ایجاد خواهد شد. از سوی دیگر این تعویض نقش خود سرباری را به کل شبکه تحمیل خواهد نمود. چرا که هر سرخوشه برای این تفویض اختیار<sup>۷</sup> ناچار است این عملیات را به تمامی اعضای خوشه اش همه‌پختی نموده و یک دوره زمانبندی را نیز انجام داده سپس منتظر پاسخ مناسب از کاندید جدید باشد. پس از این عمل فاز اولیه راه اندازی در سرخوشگی انجام شده که بسیار انرژی بر خواهد بود. بر اساس نتایج تحقیقات ثابت شده است که بهترین حالت این است که یک گره در طول عمرش یک بار بیشتر نقش سرخوشگی را ایفا نکند. در این صورت اگر تعداد گره‌های موجود در شبکه برابر ۱۰۰ عدد باشد و تعداد ۵ گره را برای سرخوشه شدن انتخاب کنیم و مقرر

<sup>۴</sup> Density

<sup>۵</sup> Round

<sup>۶</sup> Balance

<sup>۷</sup> Delegating



شده باشد که هر گره تنها یک بار این نقش را داشته باشد، آنگاه ما دارای ۲۰ دور خواهیم بود. در LEACH گره ها در شروع کار با احتمال  $P$  درصد خودش را سرخوشه اعلام می نمایند، یعنی اگر  $P = \frac{1}{2}$  باشد، هر گره با احتمال ۰.۵٪ خودش را کاندید می کند پس بطور متوسط ۰.۵٪ سرخوشه خواهیم داشت.

گره ای که برای سرخوشگی کاندید شده است پیغام درخواست الحاق<sup>۸</sup> را برای گره های اطراف خود همه پخش می نماید تا آنها عضو خوشه شوند. پس یک گره در شبکه ممکن است از چندین سرخوشه درخواست عضویت را دریافت نماید، معیار انتخاب سرخوشه همان میزان بیشینه قدرت سیگنال دریافتی خواهد بود. پس خوشه تشکیل گشته و سرخوشه به روش TDMA<sup>۹</sup> زمان بندی ارتباط گره ها و دریافت بسته های اطلاعاتی از آنها را به عهده دارد. گره ها نیز به این زمان بندی پایبند بوده و تنها در بازه مشخص شده نسبت به ارسال داده به سرخوشه اقدام می نمایند. در مرحله بعد طی زمان بندی مشخص سرخوشه داده های دریافتی را جمع نموده و با حذف داده های تکراری بسته به معیار معین، نسبت به ارسال آنها به ایستگاه پایه اقدام می کند. یکی از چالش های موجود در این قسمت دور افتادن سرخوشه ها از ایستگاه پایه است. انرژی مصرفی برای ارسال هر واحد اطلاعات برابر با انجام ۴۰۰۰ محاسبه داخلی گره خواهد بود.

در LEACH فرآیند کار شامل دو فاز کلی است که راه اندازی و حالت پایدار نام دارند. فاز راه اندازی خود شامل سه بخش زیر می باشد:

۱- گره ای که خودش را سرخوشه کرده یک پیغام تبلیغ<sup>۱۰</sup> ارسال می کند.

۲- گره های پیرامون عضویت خود را به اطلاع اطرافیان می رسانند.

۳- گره زمان بندی دریافتی از سرخوشه را همه پخش می نماید.

اما در فاز حالت پایدار گره ها داده های لازم را به سرخوشه خود می فرستد و سپس دور بعدی آغاز می گردد. تعداد گره های هر خوشه در شبکه می تواند متفاوت باشد، ولی متوسط آن  $\frac{N}{K}$  برای هر خوشه است. در دور بعد، گره هایی که سرخوشه بوده اند، احتمال کاندید شدن خودشان را صفر می کنند، پس بقیه گره ها باید احتمال سرخوشه شدنشان را افزایش دهند، یعنی اگر احتمال سرخوشه شدن یک  $p$  اولیه باشد پس  $p_r$  احتمال سرخوشه شدن در هر دور برابر است با :

<sup>۸</sup> Join Request

<sup>۹</sup> Time Division Multiple Access

<sup>۱۰</sup> Advertise

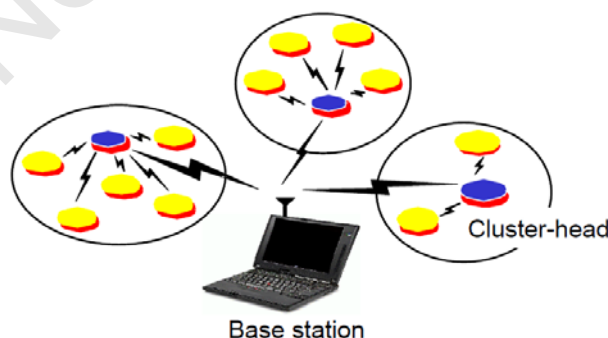


$$p_r \begin{cases} \frac{p}{1 - p \left( \text{round} \frac{1}{p} \right)} \\ 0 \end{cases}$$

در دور اول  $P$  برابر ۰ است یعنی گره تاکنون سرخوشه نبوده است.  $\frac{1}{P}$  تعداد کل دورها است، و این دورها تا جایی تکرار می شود که همه گره ها یکبار سرخوشه شوند. تمام گره های غیر سرخوشه می بایست باید داده های خود را به سرخوشه انتقال دهند. سرخوشه نیز پس از تجمیع و فشرده سازی اطلاعات این عمل را در قبال ایستگاه پایه انجام می دهد.

در سناریوی این پروتکل، چون هر گره انرژی محدودی داشته، اگر نسبت به ثابت نگه داشتن سرخوشه ها اقدام کنیم این گره ها به زودی انرژی خود را از دست داده و خواهند مرد. از این رو، وقتی گره سرخوشه می میرد (یعنی تمام انرژی باطری خود را مصرف می کند)، تمامی گره هایی که وابسته به خوشه بودند، توانایی ارتباطاتی خودشان را از دست می دهند. پس LEACH چرخش تصادفی موقعیت سرخوشه پر انرژی را ایجاد کرده که تمامی حسگرها به ترتیب در شبکه، سرخوشه شوند.

لایه MAC<sup>۱۱</sup> در LEACH برای کاهش اتلاف انرژی در گره های غیر سرخوشه انتخاب شده است. از آنجایی که گره سرخوشه، تمامی اعضای خوشه خود را می شناسد، می تواند یک زمان بندی TDMA ایجاد نماید که به گره ها بگوید هر کدام از آنها، دقیقاً داده خود را چه زمانی ارسال کنند. این امر به گره اجازه می دهد که در حالت خواب باقی مانده و انرژی خود را ذخیره کند. در ضمن این مکانیزم زمان بندی از تصادم بسته های اطلاعاتی در یک خوشه جلوگیری می نماید.



شکل ۱- شکل دهی خود پیکر بندی خوشه

<sup>11</sup> Media Access Control



LEACH خوشه ها را با استفاده از یک الگوریتم توزیع شده شکل می دهد. که در آن گره ها به صورت خود مختار و بدون کنترل مرکزی تصمیم می گیرند. از مزایای این روش این است که نیاز به ارتباطات فاصله طولانی با BS نیست، همچنین شکل دهی توزیع شده خوشه می تواند بدون اطلاع از موقعیت هر کدام از گره ها در شبکه انجام پذیرد. علاوه بر این، برای راه اندازی کردن خوشه نیاز به ارتباطات و اطلاعات سراسری شبکه نداشته و چیزی درباره حالت جاری هر کدام از گره ها در طول شکل دهی خوشه در نظر گرفته نشده است.

### تعیین گره های سرخوشه

در اصل، الگوریتمی طراحی شده که در آن، تعداد معینی از سرخوشه ها در طول هر دور مشخص است. دوم، سعی بر آن بوده است که، انرژی مصرفی را به طور عادلانه بین گره ها در شبکه توزیع کنند به طوری که گره هایی بیش از آستانه خاص از انرژی استفاده می کنند وجود نداشته باشد. این باعث می شود زمان مرگ اولین گره به حداکثر برسد. همان طور که یک گره سرخوشه، انرژی بیشتری از یک گره غیر سرخوشه مصرف می نماید (از آنجایی که گره سرخوشه باید داده را از تمامی گره ها در خوشه دریافت کند، اجرای تابع پردازش سیگنال (تجمیع داده) روی داده، و انتقال داده به یک کاربر نهایی که ممکن است دور باشد)، توزیع عادلانه بارگذاری انرژی در بین تمامی گره ها در شبکه، نیازمند این است که هر گره، سرخوشه باشد. بنابراین الگوریتم دومی خوشه بندی، بهتر است طوری طراحی شود که گره ها تقریباً مقدار مشخصی از زمان سرخوشه شوند. با فرض اینکه تمامی گره ها با مقدار یکسانی از انرژی اولیه شروع به فعالیت می کنند کارایی پروتکل بهینه خواهد بود. نکته حائز اهمیت در اینجا توزیع بهینه سرخوشه ها در سرتاسر شبکه می باشد. بطوری که فاصله گره های غیر سرخوشه برای ارسال داده خودشان به حداقل برسد. در LEACH، حسگرها، در آغاز دور  $R+1$  که در زمان  $t$  شروع می شود، این احتمال سرخوشه شدن  $P_i(t)$  از رابطه (۱) محاسبه می شود:

در این رابطه  $k$  تعداد سرخوشه هاست.

$$E[HCH] = \sum_{i=1}^N p_i(t) * 1 = k$$

رابطه (۱)

برای اطمینان از اینکه تمامی گره ها در سرخوشه هستند، تعداد یکسانی از زمان ها لازم است که گره یکبار در دورهای  $\frac{N}{K}$  سرخوشه شود.



ترکیب این محدودیت‌ها احتمال زیر را برای هر گره  $i$  که در زمان  $t$  سرخوشه شود، می‌دهد:

$$P_i = \begin{cases} 0 : C_i(t) = 0 \\ \frac{k}{n - k * \left( r \bmod \frac{n}{k} \right)} : C_i(t) = 1 \end{cases}$$

رابطه (۲)

اگر گره  $i$  قبلاً سرخوشه شده باشد در  $\left( r \bmod \frac{N}{K} \right)$ ، و در غیر این صورت  $C_i(t)=1$  احتمال سرخوشگی را دارد. بنابراین، تنها گره‌هایی که قبلاً سرخوشه نشده‌اند و انرژی بیشتری دارند، ممکنه در دور  $r+1$  سرخوشه بشوند. تعداد مورد انتظار گره‌هایی که در اولین دور سرخوشه شده‌اند  $N-k \times r$  است. بعد از دور  $\frac{N}{K}$ ، انتظار می‌رود تمامی گره‌ها حداقل یکبار سرخوشه شده باشند و  $K$  و تمامی گره‌ها مجدداً واجد سرخوشگی برای دورهای بعدی هستند.

$\sum_{i=1}^N C_i(t)$  تعداد کل گره‌هایی که واجد سرخوشه شدن در زمان  $t$  را دارند نشان می‌دهد

$$E\left[\sum_{i=1}^N c_i(t)\right] = N - K * \left( r \bmod \frac{N}{K} \right)$$

رابطه (۳)

این فرمول تضمین می‌کند که انرژی هر گره پس از  $\frac{N}{K}$  دور تقریباً برابر است. با استفاده از رابطه (۲) و (۳) تعداد مورد انتظار سرخوشه‌ها برای هر دور برابر است با:

$$\begin{aligned} E[\#CH] &= \sum_{i=1}^N P_i(t) * 1 \\ &= \left( N - K \times \left( r \bmod \frac{N}{K} \right) \right) \times \frac{K}{N - K \left( r \bmod \frac{N}{K} \right)} \\ &= K \end{aligned}$$

رابطه (۴)



حد مطلوب  $K$  می تواند از راه تجزیه تحلیل و آنالیز بر پایه مدل های اتلاف (مصرف) انرژی برای محاسبات و ارتباطات و توپولوژی شبکه تعیین گردد. آنالیز و شبیه سازی برای تعیین کردن حد مطلوب  $K$  با جزئیات در [2] شرح داده شده است.

رابطه (۵) تعداد زمان هایی که گره سرخوشه شده است را به ما نتیجه می دهد:

$$p_i(t) = \frac{E_i(t)}{E_{total}(t)} k$$

رابطه (۵)

که  $E_i(t)$  انرژی جاری گره  $i$  است و  $E_{total}$  نیز :

$$E_{total}(t) = \sum_{i=1}^N E_i(t)$$

رابطه (۶)

با استفاده از این احتمالات، گره هایی با انرژی بیشتر تمایل بیشتری برای سرخوشه شدن نسبت به گره هایی با انرژی کمتر دارند. تعداد مورد انتظار گره های سرخوشه هست:

$$\begin{aligned} E[\#CH] &= \sum_{i=1}^N p_i(t) * 1 \\ &= \left( \frac{E_1(t)}{E_{total}} + \dots + \frac{E_N(t)}{E_{total}} \right) k \\ &= K \end{aligned}$$

رابطه (۷)

اگر یک گره در آخرین دور  $R \leq \frac{N}{K}$  سرخوشه شده باشد، انرژی خودش تقریباً  $E_0 - E_{CH}$  است و اگر گره در آخرین دور  $r$  سرخوشه نشده باشد انرژی اش تقریباً  $E_0$  است. از آنجایی که انتظار می رود در آخرین دور  $kr$  گره سرخوشه شده باشد و  $N - kr$  گره سرخوشه نشده باشد، کل انرژی مورد انتظار از رابطه زیر بدست می آید:

$$E[E_{total}] = E_0[N - kr] + [E_0 - E_{CH}](kr)$$

رابطه (۸)



بنابراین ، رابطه (۹) خواهد شد:

$$E[P_i(t)] = \begin{cases} \frac{E_0 K}{E_0(N - kr) + (E_0 - E_{CH})kr} : C_i(t) = 1 \\ \frac{(E_0 - E_{CH})k}{E_0(N - kr) + (E_0 - E_{CH})kr} : C_i(t) = 0 \end{cases}$$

رابطه (۹)

و زمانیکه  $E_{0 \geq} (E_0 - E_{CH})$  رابطه به صورت زیر ساده خواهد شد:

$$E[P_i(t)] \approx \begin{cases} \frac{K}{N - kr} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases}$$

رابطه (۱۰)

از این رو ، احتمال مورد نظر هر گره برای سرخوشه شدن در دور  $t$  دقیقاً شبیه رابطه (۲) است. برای  $(r \leq \frac{N}{K})$ . البته استفاده از احتمالات در رابطه (۵) نیازمند این است که هر گره یک تخمینی از انرژی کل تمام گره ها در شبکه داشته باشد.

## ۱- فاز پیکربندی

یکبار گره ها خود با استفاده از احتمالات رابطه (۲) یا (۵) خودشان را به عنوان سرخوشه انتخاب می کنند. گره های سرخوشه، باید به تمامی دیگر گره ها در شبکه اجازه دهند که آن ها بدانند که سرخوشه چه قانون و روشی را برای این دور انتخاب کرده اند. برای انجام این کار هر گره سرخوشه یک پیام تبلیغ (ADV) را با استفاده از یک CSMA پروتکل MAC کپی می کند. این یک پیام کوچک حاوی شناسه گره ها و یک سربرگ<sup>۱۲</sup> که تصمیم می گیرد این پیام یک پیام تبلیغاتی و (ADV) باشد. هرچند این پیام حتماً باید در لایه MAC همه گره ها کپی شده و به دست تمامی گره ها در شبکه برسد. دو دلیل برای انجام این کار وجود دارد، اول اینکه تضمینی برای این که تمامی گره ها پیام ADV را بشنوند، مخصوصاً برای جلوگیری از تصادم هنگامی که CSMA استفاده می شود. دوم اینکه، از آنجا که تضمینی وجود ندارد که گره هایی که خودشان سرخوشه اعلام کرده اند به صورت عادلانه در شبکه توزیع شوند، با استفاده از قدرت کافی برای دسترسی به

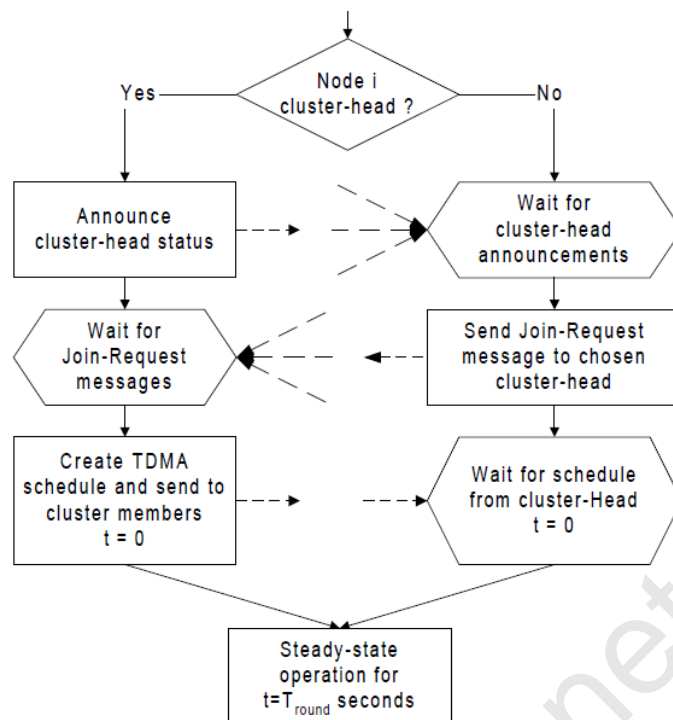
<sup>12</sup> Header



گره‌ها، مطمئن می‌شویم که هر گره می‌تواند قسمتی از یک خوشه باشد. اگر قدرت (سیگنال) پیام اعلان (ADV) کاهش یافت، بعضی از گره‌ها در لبه شبکه ممکن است پیام اعلان را دریافت نکنند و بنابراین ممکن است قادر به شرکت در آن دور از پروتکل نباشد. علاوه بر این، از آنجایی که این پیام‌های اعلان کوچک هستند، افزایش توان (سیگنال انتقال) برای انتقال به تمامی گره‌ها در شبکه بار اضافی ندارد. هر گره غیرسرخوشه تعیین می‌کند که کدام خوشه به آن تعلق دارد. با انتخاب کردن سرخوشه‌ای که به کمترین انرژی ارسال و دریافت، بر پایه توان سیگنال دریافتی پیام اعلان (ADV) هر سرخوشه، نیاز دارد، باید سرخوشه را آگاه کند که عضوی از آن شده است.

هر گره یک پیام درخواست الحاق برای انتخاب سرخوشه، با استفاده از یک پروتکل CSMA MAC ناپایدار را ارسال می‌کند. این پیام کوتاه نیز شامل شناسه گره‌ها، سرخوشه‌ها و یک سربرگ است. سرخوشه‌ها در LEACH به عنوان مراکز کنترل محلی برای انتقال داده در خوشه خودشان عمل می‌کنند. گره سرخوشه یک زمانبندی TDMA را راه‌اندازی کرده و این برنامه را برای گره‌های خود در خوشه می‌فرستد. این زمان‌بند تضمین می‌کند که هیچ تصادمی در بین پیام‌های داده رخ نخواهد داد و همچنین اجازه می‌دهند اجزای رادیویی هر گره غیرسرخوشه در مواقع غیر ضروری خاموش باشد. پس از آنکه زمان‌بندی TDMA توسط تمامی گره‌ها در خوشه شناخته شد، فاز راه-اندازی تکمیل شده و فاز حالت پایدار (انتقال داده) می‌تواند شروع شود. یک گراف جریان از این الگوریتم شکل دهی خوشه توزیع شده در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۴) نیز یک مثال از تشکیل خوشه در طی دو دور مختلف از LEACH را نشان می‌دهد.





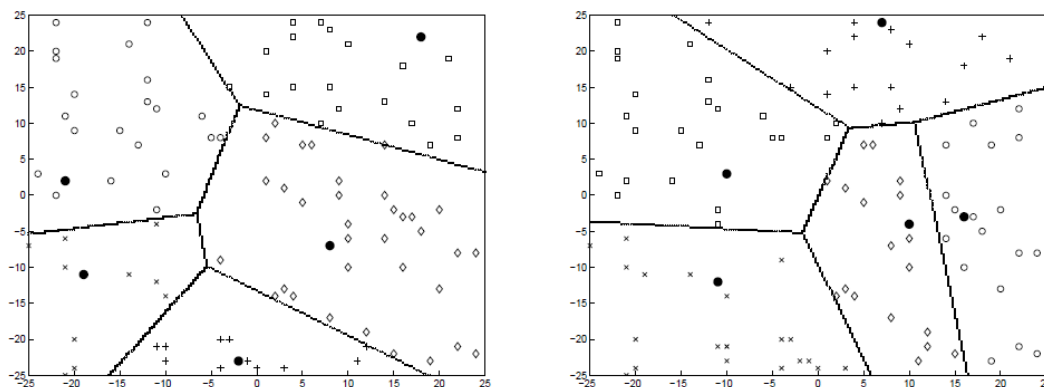
شکل (۳)

## ۲- فاز حالت پایدار

عمل (فاز) حالت پایدار به فریم‌هایی شکسته می‌شود، جایی که گره‌ها داده خودشان را به سرخوشه می‌فرستند، منتها در هر فریم ارسال داده بستگی به تعداد گره‌ها در خوشه دارد. هنگامی که الگوریتم توزیع شده برای تعیین گره‌های سرخوشه تضمین می‌کند که تعداد مورد انتظار خوشه‌های هر دور  $k$  می‌باشد، نمی‌تواند تضمین کند که در هر دور  $k$  خوشه وجود دارد. علاوه بر این، تضمین نمی‌کند که گره‌ها بصورت عادلانه در بین سرخوشه‌ها توزیع شده باشند. بنابراین تعداد گره‌های هر خوشه در LEACH بسیار متغیر است. مقدار داده‌ای که هر گره می‌تواند برای سرخوشه ارسال کند به صورت متغیر و نوسانی بستگی به تعداد گره‌ها در خوشه دارد. برای کاهش اتلاف انرژی، هر گره غیرسرخوشه از کنترل شدت (توان) ارسال بر پایه قدرت (سیگنال) دریافتی از ADV سرخوشه استفاده می‌کند. علاوه بر این سخت افزار رادیویی هر گره غیرسرخوشه تا وقتی که زمان انتقال اطلاعاتش فرا نرسیده باشد خاموش است.

از آنجایی که تمامی گره‌ها داده‌ای برای ارسال کردن دارند، و همچنین پهنای باند نیز قطعی است، استفاده از زمانبند TDMA بهره‌وری استفاده از پهنای باند را بالا می‌برد. داده از سرخوشه‌ها به BS با استفاده از کد گسترده ثابت و یک روش CSMA ارسال می‌شود. هنگامی که یک سرخوشه داده برای ارسال دارد (در انتهای فریم خودش)، حتما باید کانال را شناسایی کرده تا از تصادم با دیگر سرخوشه‌ها جهت ارسال به ایستگاه پایه جلوگیری کند.





شکل (۴)

۳,۳: تجمیع داده حسگر

تجمیع داده می تواند روی داده های پردازش نشده صورت گیرد یا به صورت محلی در سرخوشه ها انجام شود. اگر انرژی مصرفی برای ارتباطات بیش از انرژی مصرفی جهت محاسبه باشد، اجرای تجمیع داده محلی در سرخوشه می تواند مصرف انرژی را در سراسر سیستم کاهش دهد. از این رو، حداقل داده ای که مفید نیز بوده نیاز به BS دارند. در پژوهش های صورت گرفته بصورت آنالیز مصرف انرژی لازم را برای اجرای تجمیع داده محلی و ارسال داده جمع آوری شده به BS در برابر ارسال داده پردازش نشده به BS مقایسه گردیده است. فرض کنید که انرژی هر یک برای تجمیع داده  $E_{DA}$  و انرژی مصرفی هر بیت برای ارسال به BS؛  $E_{TX}$  است.

علاوه بر این فرض کنید که روش تجمیع داده می تواند داده را نرخ  $L:10$  فشرده کند. این بدان معناست که برای هر  $L$  بیتی که می بایست به BS ارسال شود، وقتی فرآیند تجمیع داده اجرا نشده است این مقدار برابر ۱۰ بیت بوده اما هنگامی که تجمیع داده محلی اجرا می شود تنها یک بیت باید به BS ارسال شود. بنابراین انرژی برای اجرای تجمیع داده محلی و انتقال آن برای هر  $L$  بیت از داده با رابطه (۱۱-۳) محاسبه می شود:

$$E_{LOCAL-DA} = LE_{DA} + E_{TX}$$

رابطه (۱۱)

و انرژی برای ارسال برای همه  $L$  بیت داده بصورت مستقیم به BS هست:

$$E_{NO-DA} = LE_{TX}$$

رابطه (۱۲)

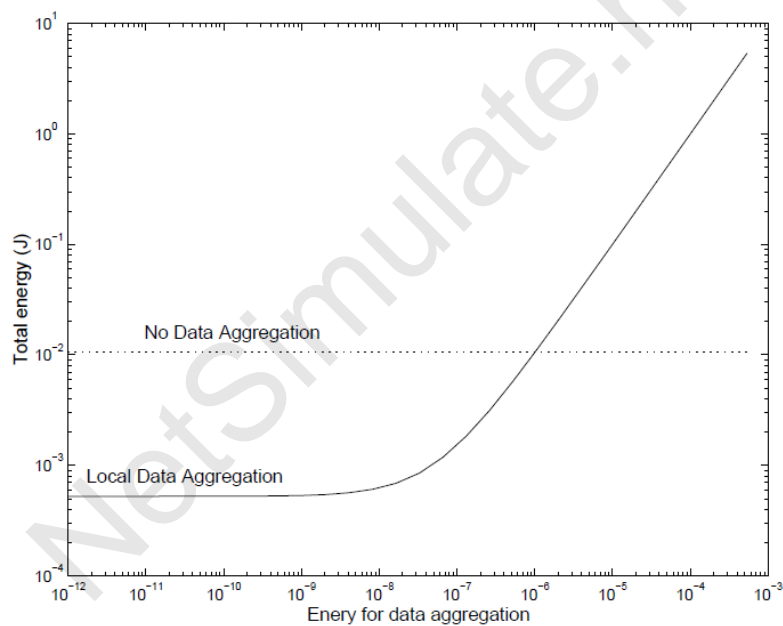


بنابراین، اجرای تجمیع داده محلی نیاز به انرژی کمتری نسبت به ارسال تمام داده های پردازش نشده BS است هنگامی که:

$$\begin{aligned} E_{local-DA} &< E_{NO-DA} \\ LE_{DA} + E_{TX} &< LE_{TX} \\ E_{DA} &< \frac{L-1}{L} E_{TX} \end{aligned}$$

رابطه (۱۳)

در نمودار زیر میزان انرژی مصرفی تراکنش اطلاعات بین سرخوشه ها و ایستگاه پایه در حالتی که تجمیع داده و فشردگی محلی انجام گرفته باشد بسیار بهینه تر از حالتی است که اطلاعات بطور خام و مستقیماً به ایستگاه پایه ارسال گردند.



شکل (۵)



پس از تحقیقات گسترده در این زمینه به معرفی برخی مزایای پروتکل LEACH به شرح زیر می-پردازیم:

۱. گره ها بصورت تصادفی و با نرخ ثابت می میرند.
۲. LEACH طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل های پیشین افزایش می دهد.
۳. LEACH کاملاً توزیع شده است و نیاز به داشتن اطلاعات سراسری از کل سیستم نیست.
۴. LEACH قابلیت مقیاس پذیری بالایی نسبت به پروتکل هایی از قبیل GEAR, SPIN, SPEED MECN, GAF, SAR, دارد. که دامنه کاربرد آن را بسیار بالا برده است. البته این مقیاس پذیری می بایست همگام با چگالی شبکه افزایش یابد.
۵. در پروتکل LEACH خوشه از ثبات متوسط برخوردار است که این مورد نیز از پروتکل های Rumor routing , Direct Approach, Directed Diffusion برتر است.
۶. در توزیع سرخوشه در شبکه نیز پروتکل LEACH برتری چشمگیری نسبت به سه پروتکل Rumor routing , Direct Approach, Directed Diffusion دارد.
۷. نرخ تاخیر در پروتکل LEACH بدلیل مدیریت بهینه از برخی پروتکل ها نظیر Directed Diffusion , PEGASIS کمتر است.
۸. قابلیت اختصاصی شدن در نسل جدید شبکه های حسگر بی سیم (زیر آب) و عملکرد بهینه در این اهداف.



Table1: Time line of LEACH and Its Descendant

S.N.	LEACH and Its Descendant	Abbreviation	Year of Publication
1	LEACH [49]	Low energy adaptive clustering hierarchy	2002
2	LEACH-C [49]	Centralized - Low energy adaptive clustering hierarchy	2002
3	LEACH-F [50]	Fixed no. Of Cluster- Low energy adaptive clustering hierarchy	2002
4	LEACH-B [51]	Balanced- Low energy adaptive clustering hierarchy	2003
5	LEACH-ET [52]	Energy threshold- Low energy adaptive clustering hierarchy	2006
6	LEACH-E [53]	Energy- Low energy adaptive clustering hierarchy	2007
7	TL-LEACH [54]	Three Layer- Low energy adaptive clustering hierarchy	2007
8	A -s LEACH [31]	Advanced-solar aware- Low energy adaptive clustering hierarchy	2007
9	S- LEACH [55]	Secure- Low energy adaptive clustering hierarchy	2008
10	Trust Based -LEACH [36]	Trust Based- Low energy adaptive clustering hierarchy	2008
11	LEACH-DCHS-CM [37]	Cluster maintenance - Low energy adaptive clustering hierarchy-DCHS	2008
12	TB- LEACH [38]	Time based- Low energy adaptive clustering hierarchy	2008
13	MAT- LEACH [40]	Mobile agent based- Low energy adaptive clustering hierarchy	2008
14	Armor- LEACH [42]	Advance LEACH routing protocol for micro-sensor networks	2008
15	LEACH-Mobile [45]	Low energy adaptive clustering hierarchy-Mobile	2008
16	A-LEACH [41]	Advanced- Low energy adaptive clustering hierarchy	2008
17	ME- LEACH-L [34]	More energy efficient - Low energy adaptive clustering hierarchy-L	2009
18	Re-cluster- LEACH [46]	Re-cluster- LEACH- Low energy adaptive clustering hierarchy	2009
19	LEACH-H [44]	Low energy adaptive clustering hierarchy-H	2009
20	O- LEACH [43]	Optical- Low energy adaptive clustering hierarchy	2009
21	LEACH-TM [39]	Low energy adaptive clustering hierarchy-trust-minimum transmission	2009
22	MS- LEACH [35]	Combination of <b>multi-hop</b> and <b>single hop</b> - Low energy adaptive clustering hierarchy	2009
23	Hybrid-LEACH [32]	Hybrid- Low energy adaptive clustering hierarchy	2009
24	LEACH-D [29]	Low energy adaptive clustering hierarchy-D	2010
25	P-LEACH [30]	Low energy adaptive clustering hierarchy-partition	2010
26	ACHTH- LEACH [33]	Adaptive cluster head election and two hop transmission- Low energy adaptive clustering hierarchy	2010
27	MR- LEACH [47]	Multi-hop hop routing- Low energy adaptive clustering hierarchy	2010
28	HPR- LEACH [48]	Heterogeneous- Low energy adaptive clustering hierarchy	2010

جدول شماره ۱- در جدول بالا رزومه ای از تحقیقات صورت گرفته بر روی پروتکل LEACH مشاهده می شود.

ایده های موجود:

- اگرچه مصرف انرژی یک مسأله حیاتی در شبکه های حسگر بی سیم است، LEACH انرژی باقیمانده گره ها را در انتخاب، سرخوشه ها در نظر نمی گیرد.
- از آن جا که تصمیم برای انتخاب سرخوشه، تصادفی و بدون در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره ها است، گره های با انرژی کمتر می توانند شانس خوبی برای سرخوشه شدن داشته باشند. در این صورت پس از مردن این گره ها، خوشه هایشان غیر کاربردی می شوند.
- شانس احتمالی سرخوشه شدن بر اساس این فرض است که گره ها در شروع، انرژی یکسانی دارند و تمام گره ها در هر قاب، داده برای ارسال دارند.
- ممکن است برخی سرخوشه ها در نزدیکی یکدیگر قرار بگیرند و بدین معنی است که سرخوشه ها بخوبی در شبکه توزیع نشده اند.



- سرخوشه ها باید مستقیماً داده های خوشه را به ایستگاه پایه ارسال کنند که انرژی زیادی مصرف می شود. اگر شبکه ابعاد بزرگی داشته باشد این فرض کاربردی نیست. زیرا سرخوشه ها گره هایی معمولی هستند و ممکن است ایستگاه پایه به دلایلی نظیر وجود موانع، مستقیماً توسط گره ها در دسترس نباشد، پس شبکه توسعه پذیر نیست.

تالیف: محمد حسین همایی