

## تشریح پروتکل LEACH

## پروتکل خوشه بندی LEACH:

LEACH یک پروتکل خوشه‌بندی خودسازمانده است که بار انرژی را بر روی حسگرهای شبکه توزیع می‌کند. در LEACH گره‌ها خودشان را در خوشه‌های محلی سازماندهی می‌کنند، به گونه‌ای که یک گره در خوشه به عنوان سرخوشه عمل می‌کند. برای اینکه با تمام شدن انرژی گره سرخوشه، کل خوشه از کار نیفتد و عمر خوشه تمام نشود، گره‌های با انرژی بالا در خوشه به صورت چرخشی و تصادفی سرخوشه می‌شوند. به علاوه داده‌ها به صورت محلی با هم تجمع می‌گردند تا مقدار داده‌هایی 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 می‌کنند. این سرخوشه‌ها وضعیت خودشان را به اطلاع گره‌های دیگر شبکه می‌رسانند. هر گره بر اساس مینیمم انرژی ارتباطی یک سرخوشه را انتخاب می‌کند و عضو آن خوشه می‌گردد. زمانی که همه گره‌ها در خوشه‌ها سازماندهی شدند، هر سرخوشه یک برنامه زمان‌بندی برای گره‌های خوشه خود می‌سازد. گره‌های غیرسرخوشه براساس این برنامه زمان‌بندی فقط زمانی که نوبت ارسال آنها است سخت افزار رادیویی خود را روشن می‌سازند و در بقیه زمان‌ها در حالت خاموش بوده که این امر نیز باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد.

زمانی که گره سرخوشه، داده‌های همه اعضا را جمع‌آوری کرد، داده‌ها را تجمع نموده و داده‌های فشرده شده را به ایستگاه پایه می‌فرستند. در این روش گره‌ها بر اساس انرژی باقیمانده‌شان تصمیم می‌گیرند که سرخوشه بشوند یا خیر. هر گره مستقل از سایر گره‌ها تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین برای تشخیص سرخوشه مذاکرات اضافی لازم است.

### تشریح روش:

عملکرد LEACH به چندین دور تقسیم می‌گردد. که هر دور با یک فاز راه‌اندازی<sup>۲</sup> آغاز گشته و همزمان خوشه‌ها سازماندهی می‌گردند. سپس در فاز حالت پایدار<sup>۳</sup> عمل انتقال داده‌ها به ایستگاه

---

<sup>۱</sup> Base Station

<sup>۲</sup> Setup Phase

<sup>۳</sup> Steady Phase

پایه انجام می‌گیرد 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 می‌گیرد که آیا در دور جاری سرخوشه بشود یا خیر. این تصمیم گره بر اساس انتخاب یک عدد تصادفی بین صفر و یک انجام می‌شود اگر عدد کمتر از مقدار آستانه  $T(n)$  باشد، گره در دور جاری سرخوشه می‌شود. مقدار آستانه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

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

که  $P$  درصد مطلوب برای سرخوشه‌ها است. (مثلاً  $P=0/05$ ) و  $r$  مرحله جاری است و  $G$  مجموعه گره‌هایی است که در  $P/1$  مرحله آخر به عنوان سرخوشه انتخاب نشده‌اند. در مرحله صفر هر گره با احتمال  $P$  سرخوشه می‌گردد. گره‌هایی که در یک مرحله سرخوشه می‌شوند تا  $P/1$  مرحله بعد سرخوشه نخواهند شد، بنابراین احتمال سرخوشه شدن گره‌های دیگر افزایش می‌یابد زیرا گره‌های کمتری شایستگی سرخوشه شدن را دارا می‌باشند. بعد از  $(p-1)/1$  مرحله، برای همه گره‌هایی که هنوز سرخوشه نشده‌اند،  $T=1$  می‌شود و پس از  $P/1$  مرحله، همه گره‌ها یک بار شایستگی سرخوشه شدن را پیدا کرده‌اند. نسخه بعدی این کار شامل یک آستانه مبتنی بر انرژی جهت استفاده برای گره‌های با انرژی غیر یکنواخت است.

هر گره‌ای که در این مرحله خودش را به عنوان سرخوشه انتخاب کرد یک آگهی به بقیه گره‌ها ارسال می‌نماید. گره‌های غیر سرخوشه، آگهی‌های دریافتی از گره‌های سرخوشه را برای استفاده در فاز راه اندازی نگه می‌دارند. بعد از اینکه این فاز کامل شد، هر گره غیر سرخوشه یک سرخوشه را برای این مرحله انتخاب می‌کند. این تصمیم بر اساس قدرت سیگنال‌های دریافتی ناشی از

آگهی‌های رسیده از سرخوشه‌ها گرفته می‌شود. در صورت وجود گره (خوشه بدون سرخوشه) یک سرخوشه به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد.

• فاز راه اندازی خوشه:

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

• ساخت برنامه زمان‌بندی:

گره سرخوشه پیام‌های اعضای خوشه را دریافت می‌کند و بر اساس تعداد گره‌های خوشه یک برنامه زمان‌بندی می‌سازد که مشخص می‌کند که هرگره در چه زمانی می‌تواند اطلاعاتش را ارسال نماید این برنامه زمان‌بندی به تمام گره‌های خوشه ارسال می‌گردد.

انتقال داده ها :

پس از آن که خوشه ها ایجاد شدند انتقال داده‌ها می‌تواند شروع شود با فرض اینکه گره‌ها همیشه داده‌ای جهت ارسال دارند آنها در طول زمانی که به آنها تخصیص دارد داده هایشان را به سرخوشه ارسال می‌کنند. این ارسال از مینیمم مقدار انرژی استفاده می‌کند پس از ارسال داده قطعات رادیویی هر گره غیر سرخوشه می‌تواند خاموش شود. گره سرخوشه باید گیرنده اش را جهت دریافت اطلاعات از گره‌ها در خوشه روشن نگه دارد. زمانی که همه داده ها دریافت شدند گره سرخوشه عمل پردازش سیگنال را انجام می‌دهد 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 می‌شود با گره‌های سرخوشه ای که در فاز اعلان شناسایی گردیده اند.

### جزئیات عملکرد LEACH

عملکرد این پروتکل یک روش با قابلیت زمان‌بندی است که از Data gathering برای مسیریابی و جمع‌آوری داده (کارلایه ۳) استفاده می‌کند. زمان‌بندی مورد نظر کار لایه (MAC) است. کار LEACH بر اساس مکانیزم خوشه‌بندی است، یعنی گره‌های شبکه را گروه‌بندی می‌کنیم. به این ترتیب به هر سرخوشه کانال تخصیص می‌دهیم، سپس جلوی تداخل بین سرخوشه‌ها 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 داده‌های حس شده می‌باشند. تحلیل روش مورد نظر بدین‌گونه 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<sup>۵</sup> 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 می‌باشد.

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>۶</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 خوشه‌اش 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 گره‌ها در شروع کار با احتمال  $P$  درصد خودش را سرخوشه اعلام می‌نمایند، یعنی اگر  $P = \frac{1}{2}$  باشد، هر گره با احتمال ۰.۵٪ خودش را کاندید می‌کند پس بطور متوسط ۰.۵٪ سرخوشه خواهیم داشت.

گره‌ای که برای سرخوشگی کاندید شده است پیغام درخواست الحاق<sup>۸</sup> را برای گره‌های اطراف خود همه پخش می‌نماید 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> زمان‌بندی ارتباط گره‌ها و دریافت بسته‌های اطلاعاتی از آنها را به عهده دارد. گره‌ها نیز به این زمان‌بندی پایبند بوده و تنها در بازه مشخص شده نسبت به ارسال داده به سرخوشه اقدام می‌نمایند. در مرحله بعد طی زمان‌بندی مشخص سرخوشه داده‌های دریافتی را جمع‌نموده و با حذف داده‌های تکراری بسته به معیار معین، نسبت به ارسال آنها به ایستگاه پایه اقدام می‌کند. یکی از چالش‌های موجود در این قسمت دور افتادن سرخوشه‌ها 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 راه‌اندازی و حالت پایدار نام دارند. فاز راه‌اندازی خود شامل سه بخش زیر می‌باشد:

۱- گره‌ای که خودش را سرخوشه کرده یک پیغام تبلیغ<sup>۱۰</sup> ارسال می‌کند.

۲- گره‌های پیرامون عضویت خود را به اطلاع اطرافیان می‌رسانند.

۳- گره زمان‌بندی دریافتی از سرخوشه را همه پخش می‌نماید.

اما در فاز حالت پایدار گره‌ها داده‌های لازم را به سرخوشه خود می‌فرستد و سپس دور بعدی آغاز می‌گردد. تعداد گره‌های هر خوشه در شبکه می‌تواند متفاوت باشد، ولی متوسط آن  $\frac{N}{K}$  برای هر خوشه است. در دور بعد، گره‌هایی که سرخوشه بوده‌اند، احتمال کاندید شدن خودشان را صفر می‌کنند، پس بقیه گره‌ها 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

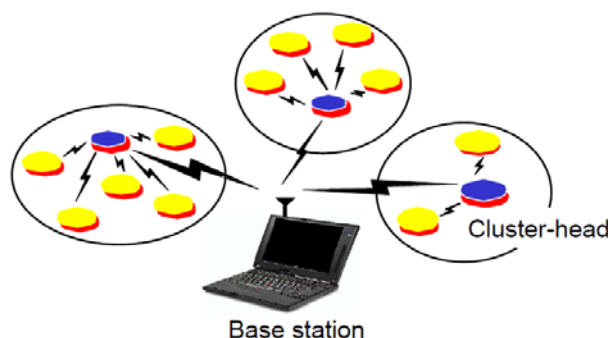
<sup>۱۰</sup> Advertise

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

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 می‌شود که همه گره‌ها یکبار سرخوشه شوند. تمام گره‌های غیر سرخوشه می‌بایست باید داده‌های خود را به سرخوشه انتقال دهند. سرخوشه نیز پس از تجمیع و فشرده سازی اطلاعات این عمل را در قبال ایستگاه پایه انجام می‌دهد.

در سناریوی این پروتکل، چون هر گره انرژی محدودی داشته، اگر نسبت به ثابت نگه داشتن سرخوشه‌ها اقدام کنیم این گره‌ها به زودی انرژی خود را از دست داده و خواهند مرد. از این رو، وقتی گره سرخوشه می‌میرد (یعنی تمام انرژی باطری خود را مصرف می‌کند)، تمامی گره‌هایی که وابسته به خوشه بودند، توانایی ارتباطاتی خودشان را از دست می‌دهند. 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 گره‌های غیر سرخوشه انتخاب شده است. از آنجایی که گره سرخوشه، تمامی اعضای خوشه خود را می‌شناسد، می‌تواند یک زمان‌بندی TDMA ایجاد نماید که به گره‌ها بگوید هر کدام از آنها، دقیقاً داده خود را چه زمانی ارسال کنند. این امر به گره اجازه می‌دهد که در حالت خواب باقی مانده و انرژی خود را ذخیره کند. در ضمن این مکانیزم زمان‌بندی از تصادم بسته‌های اطلاعاتی در یک خوشه جلوگیری می‌نماید.



شکل ۱- شکل دهی خود پیکر بندی خوشه

<sup>11</sup> Media Access Control

LEACH خوشه‌ها را با استفاده از یک الگوریتم توزیع شده شکل می‌دهد. که در آن گره‌ها به صورت خود مختار و بدون کنترل مرکزی تصمیم می‌گیرند. از مزایای این روش این است که نیاز به ارتباطات فاصله طولانی با BS نیست، همچنین شکل‌دهی توزیع شده خوشه می‌تواند بدون اطلاع از موقعیت هر کدام از گره‌ها در شبکه انجام پذیرد. علاوه بر این، برای راه‌اندازی کردن خوشه نیاز به ارتباطات و اطلاعات سراسری شبکه نداشته و چیزی درباره حالت جاری هر کدام از گره‌ها در طول شکل‌دهی خوشه در نظر گرفته نشده است.

### تعیین گره‌های سرخوشه

در اصل، الگوریتمی طراحی شده که در آن، تعداد معینی از سرخوشه‌ها در طول هر دور مشخص است. دوم، سعی بر آن بوده است که، انرژی مصرفی را به طور عادلانه بین گره‌ها در شبکه توزیع کنند به طوری که گره‌هایی بیش از آستانه خاص از انرژی استفاده می‌کنند وجود نداشته باشد. این باعث می‌شود زمان مرگ اولین گره به حداکثر برسد. همان‌طور که یک گره سرخوشه، انرژی بیشتری از یک گره غیر سرخوشه مصرف می‌نماید (از آنجایی که گره سرخوشه باید داده را از تمامی گره‌ها 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 گره‌ها در شبکه، نیازمند این است که هر گره، سرخوشه باشد. بنابراین الگوریتم دومی خوشه‌بندی، بهتر است طوری طراحی شود که گره‌ها تقریباً مقدار مشخصی از زمان سرخوشه شوند. با فرض اینکه تمامی گره‌ها با مقدار یکسانی از انرژی اولیه شروع به فعالیت می‌کنند کارایی پروتکل بهینه خواهد بود. نکته حائز اهمیت در اینجا توزیع بهینه سرخوشه‌ها در سرتاسر شبکه می‌باشد. بطوری که فاصله گره‌های غیر سرخوشه برای ارسال داده خودشان به حداقل برسد. در LEACH، حسگرها، در آغاز دور  $R+1$  که در زمان  $t$  شروع می‌شود، این احتمال سرخوشه شدن  $P_i(t)$  از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

در این رابطه  $k$  تعداد سرخوشه‌هاست.

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

رابطه (۱)

برای اطمینان از اینکه تمامی گره‌ها در سرخوشه هستند، تعداد یکسانی از زمان‌ها 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  $N - K * r$  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:

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

رابطه (۴)

حد مطلوب  $K$  می‌تواند از راه تجزیه تحلیل و آنالیز بر پایه مدل‌های 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 زمان‌هایی که گره سرخوشه شده است را به ما نتیجه می‌دهد:

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

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، گره‌هایی با انرژی بیشتر تمایل بیشتری برای سرخوشه شدن نسبت به گره‌هایی با انرژی کمتر دارند. تعداد مورد انتظار گره‌های 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 انرژی‌اش تقریباً  $E_0$  است. از آنجایی که انتظار می‌رود در آخرین دور  $kr$  گره سرخوشه شده باشد و  $N - kr$  گره سرخوشه نشده باشد، کل انرژی مورد انتظار از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

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 گره‌ها در شبکه داشته باشد.

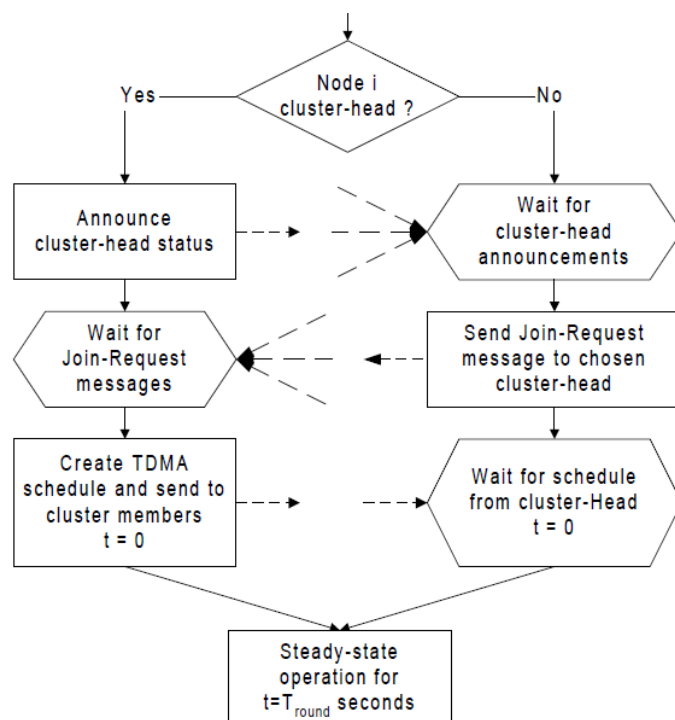
## ۱- فاز پیکربندی

یکبار گره‌ها خود با استفاده از احتمالات رابطه (۲) یا (۵) خودشان را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند. گره‌های سرخوشه، باید به تمامی دیگر گره‌ها در شبکه اجازه دهند که آن‌ها بدانند که سرخوشه چه قانون و روشی را برای این دور انتخاب کرده‌اند. برای انجام این کار هر گره سرخوشه یک پیام تبلیغ (ADV) را با استفاده از یک CSMA پروتکل MAC کپی می‌کند. این یک پیام کوچک حاوی شناسه گره‌ها و یک سربرگ<sup>۱۲</sup> که تصمیم می‌گیرد این پیام یک پیام تبلیغاتی و (ADV) باشد. هرچند این پیام حتماً باید در لایه MAC همه گره‌ها کپی شده و به دست تمامی گره‌ها در شبکه برسد. دو دلیل برای انجام این کار وجود دارد، اول اینکه تضمینی برای این که تمامی گره‌ها پیام ADV را بشنوند، مخصوصاً برای جلوگیری از تصادم هنگامی که CSMA استفاده می‌شود. دوم اینکه، از آنجا که تضمینی وجود ندارد که گره‌هایی که خودشان سرخوشه اعلام کرده‌اند 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.

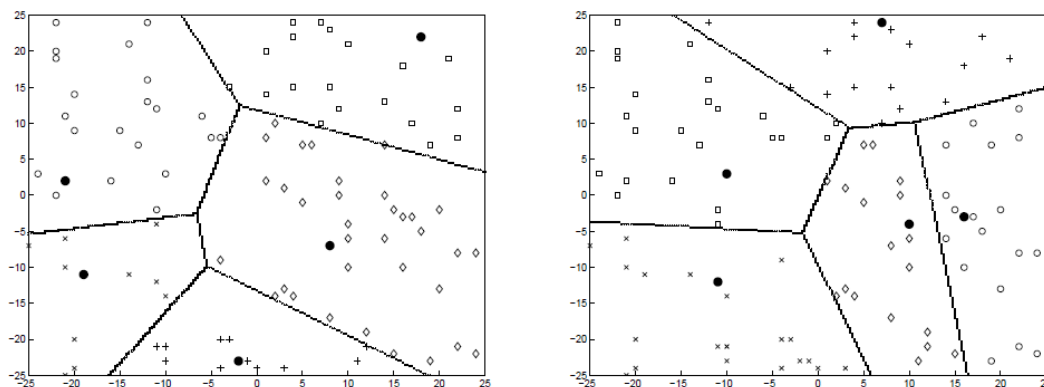


شکل (۳)

## 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 می‌تواند روی داده‌های پردازش نشده صورت گیرد یا به صورت محلی در سرخوشه‌ها انجام شود. اگر انرژی مصرفی برای ارتباطات بیش از انرژی مصرفی جهت محاسبه باشد، اجرای تجمیع داده محلی در سرخوشه می‌تواند مصرف انرژی را در سراسر سیستم کاهش دهد. از این‌رو، حداقل داده‌ای که مفید نیز بوده نیاز به BS دارند. در پژوهش‌های صورت گرفته بصورت آنالیز مصرف انرژی لازم را برای اجرای تجمیع داده محلی و ارسال داده جمع‌آوری 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 می‌تواند داده را نرخ  $L:10$  فشرده کند. این بدان معناست که برای هر  $L$  بیتی که می‌بایست به BS ارسال شود، وقتی فرآیند تجمیع داده اجرا نشده است این مقدار برابر ۱۰ بیت بوده اما هنگامی که تجمیع داده محلی اجرا می‌شود 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 می‌شود:

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

رابطه (۱۱)

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

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

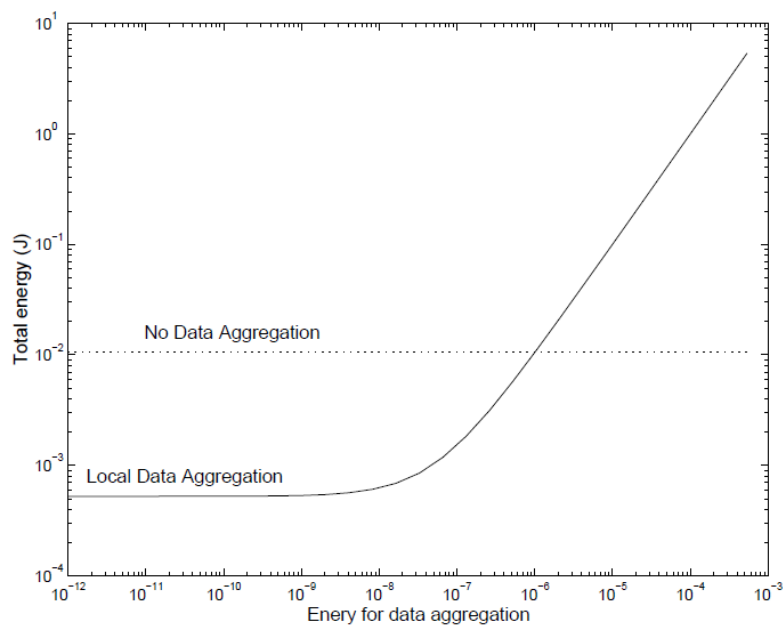
رابطه (۱۲)

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 سرخوشه‌ها و ایستگاه پایه در حالتی که تجمیع داده و فشردن 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 می‌پردازیم:

۱. گره‌ها بصورت تصادفی و با نرخ ثابت می‌میرند.
۲. LEACH طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل‌های پیشین افزایش می‌دهد.
۳. LEACH کاملاً توزیع شده است و نیاز به داشتن اطلاعات سراسری از کل سیستم نیست.
۴. LEACH قابلیت مقیاس پذیری بالایی نسبت به پروتکل‌هایی از قبیل GEAR, SPIN, SPEED MECN, GAF, SAR, دارد. که دامنه کاربرد آن را بسیار بالا برده است. البته این مقیاس پذیری می‌بایست همگام با چگالی شبکه افزایش یابد.
۵. در پروتکل LEACH خوشه از ثبات متوسط برخوردار است که این مورد نیز از پروتکل‌های 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 پروتکل‌ها نظیر Directed Diffusion, PEGASIS کمتر است.
۸. قابلیت اختصاصی شدن در نسل جدید شبکه‌های حسگر بی‌سیم (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 رزومه‌ای از تحقیقات صورت گرفته بر روی پروتکل LEACH مشاهده می‌شود.

ایده‌های موجود:

- اگرچه مصرف انرژی یک مسأله حیاتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است، LEACH انرژی باقیمانده گره‌ها را در انتخاب، سرخوشه‌ها در نظر نمی‌گیرد.
- از آن جا که تصمیم برای انتخاب سرخوشه، تصادفی و بدون در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره‌ها است، گره‌های با انرژی کمتر می‌توانند شانس خوبی برای سرخوشه شدن داشته باشند. در این صورت پس از مردن این گره‌ها، خوشه‌هایشان غیر کاربردی می‌شوند.
- شانس احتمالی سرخوشه شدن بر اساس این فرض است که گره‌ها در شروع، انرژی یکسانی دارند و تمام گره‌ها در هر قاب، داده برای ارسال دارند.
- ممکن است برخی سرخوشه‌ها در نزدیکی یکدیگر قرار بگیرند و بدین معنی است که سرخوشه‌ها بخوبی در شبکه توزیع نشده‌اند.

- سرخوشه‌ها باید مستقیماً داده‌های خوشه را به ایستگاه پایه ارسال کنند که انرژی زیادی مصرف می‌شود. اگر شبکه ابعاد بزرگی داشته باشد این فرض کاربردی نیست. زیرا سرخوشه‌ها گره‌هایی معمولی هستند و ممکن است ایستگاه پایه به دلایلی نظیر وجود موانع، مستقیماً توسط گره‌ها در دسترس نباشد، پس شبکه توسعه پذیر نیست.

تالیف: محمد حسین همایی

با سپاس از همکاران محترم و اعضای لابراتوار شبکه‌های حسگر بی‌سیم ایران

[www.wsnlab.ir](http://www.wsnlab.ir)