

نام استاد: دکتر فصحتی

نام درس: مدارهای واسط

شماره دانشجویی: ۴۰۱۱۰۶۳۶۳

نام دانشجو: میترا قلی پور

## ۱- کاربرد پروتکل/گذرگاه DALI و چرایی توسعه آن

### ۱-۱- کاربرد اصلی

پروتکل DALI (Digital Addressable Lighting Interface) برای کنترل دیجیتال سیستم‌های روشنایی در ساختمان‌ها و محیط‌های تجاری/صنعتی طراحی شده است. با استفاده از این پروتکل، مدیریت روشن/خاموش کردن، دیمینگ (تنظیم شدت نور)، گروه‌بندی چراغ‌ها و گرفتن گزارش خرابی یا وضعیت (بازخورد) به شکل متمرکز و منعطف انجام می‌شود.

### ۱-۲- ضرورت توسعه و مزایا

۱. جایگزینی کنترل‌های آنالوگ (نظیر 1/10 ولت):

در روش‌های قبلی، کنترل تمام چراغ‌های یک Zone یا کانال فقط با تغییر یک سیگنال ولتاژی مشترک انجام می‌شد. این رویکرد مانع از آدرس‌دهی جداگانه برای هر چراغ بود و بازخوردی در مورد وضعیت یا خطای لامپ‌ها هم وجود نداشت. همچنین برای تعریف گروه‌ها و سناریوهای نورپردازی، لازم بود سیم‌کشی‌های بیشتری انجام شود. اما در DALI، هر چراغ یا درایور یک «آدرس کوتاه» منحصر به فرد دریافت می‌کند؛ این یعنی می‌توان چراغ‌ها را به صورت جداگانه یا در قالب گروه کنترل کرد و حتی پیکربندی را بدون دست‌کاری سیم‌کشی انجام داد. همچنین با ارتباط دوطرفه، دریافت گزارش خطا یا وضعیت از چراغ‌ها امکان‌پذیر شده است.

۲. افزایش بهره‌وری انرژی:

در بسیاری از بناها، نورپردازی بخش عظیمی از مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد. DALI با امکان دیمینگ دقیق و روشن/خاموش کردن هوشمند، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کند. برای مثال، می‌توان

سنسورهای حرکت یا نور محیطی را به سیستم متصل کرد و در صورت عدم نیاز، روشنایی را کاهش داد یا به کلی لامپ‌ها را خاموش کرد. این رویکرد به صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه و مدیریت بهینه مصرف برق می‌انجامد.

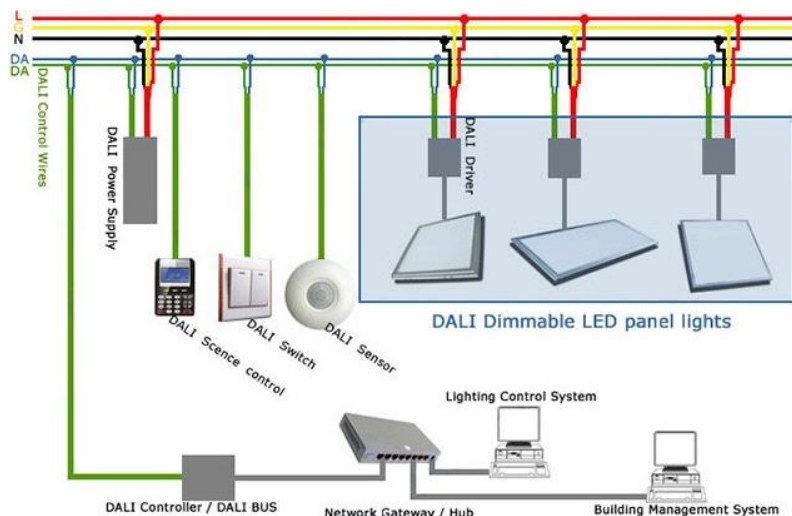
۳. استاندارد باز و کارخانه‌ساز:

وجود یک استاندارد بین‌المللی باز باعث می‌شود تا سازندگان مختلف بتوانند محصولات هم‌خوان با DALI عرضه کنند و کاربر نهایی هم به‌جای وابستگی به یک برند، حق انتخاب گسترده‌تری داشته باشد. فرآیند صدور گواهینامه (Certification) موجب می‌شود تا دستگاه‌هایی که نشان «DALI» یا «DALI-2» دارند، مورد اطمینان باشند و در کنار سایر تجهیزات سازگار (از برندهای گوناگون) عملکرد درستی داشته باشند.

۴. انعطاف در پیکربندی و توسعه:

یک خط DALI از حداکثر ۶۴ دستگاه پشتیبانی می‌کند. در صورتی که تعداد چراغ‌ها بیشتر از این باشد، می‌توان چند خط DALI را به‌صورت موازی ایجاد کرد و با کمک واسطه‌هایی مانند گیت‌وی، روتر یا Zone Controller همه آنها را از یک مرکز مدیریت نمود. DALI قابلیت ادغام با سایر سیستم‌های هوشمندسازی ساختمان را نیز دارد؛ برای نمونه، اگر پروژه از پروتکل KNX استفاده کند و بخواهیم کنترل روشنایی آن را به DALI بسپاریم، کافی است یک گیت‌وی-KNX DALI اضافه شود. در نتیجه، مدیریت نور و سایر ملاحظات هوشمند ساختمان از یک بستر یکپارچه انجام می‌گیرد. تعریف گروه‌ها و صحنه‌های متنوع به‌صورت نرم‌افزاری و بدون تغییر سیم‌کشی، یک مزیت مهم دیگر است. در یک ساختمان اداری ممکن است بخش‌های مختلفی با نیازهای متفاوت نورپردازی وجود داشته باشد. با استفاده از نرم‌افزار کمیسیونینگ می‌توان به‌آسانی گروه‌بندی لامپ‌ها را ویرایش کرد یا سناریوهای جدید تعریف نمود.

در مجموع، DALI به‌عنوان یک پروتکل دیجیتال و آدرس‌پذیر، از یک‌سو جایگزین سیستم‌های قدیمی آنالوگ شده است و از سوی دیگر، زیرساختی فراهم کرده که هم در پروژه‌های کوچک کاربرد دارد و هم در پروژه‌های بزرگ چندخطی. افزون بر کنترل انعطاف‌پذیر، این پروتکل مزایایی مانند صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ساده‌سازی عیب‌یابی و گسترش‌پذیری بالا را در اختیار کاربران و مدیران پروژه قرار می‌دهد.



شکل ۱ ساختار کلی پیاده‌سازی پروتکل DALI

## ۲- اتصالات و مدارات لایه فیزیکی پروتکل DALI

در لایه فیزیکی DALI، ایده اصلی این است که همه دستگاه‌ها (چه چراغ‌ها و چه کنترل‌کننده‌ها) از طریق یک خط مشترک دو سیمه با یکدیگر در ارتباط باشند. در ادامه، این بخش با توضیحات بیشتر درباره اتصالات ضروری، اختیاری و نحوه سیم‌کشی کامل‌تر می‌شود:

۱. گذرگاه دو سیمه (DALI Bus):

نام‌گذاری پایه:

عموماً از نمادهای  $DA+$  و  $DA-$  یا گاهی فقط  $DA/DA$  برای این دو سیم استفاده می‌شود. منظور تفاوت در قطبیت نیست، بلکه دو هادی هستند که سیگنال دیجیتال کدگذاری شده منچستر و همچنین تغذیه سطح پایین (اکثراً بین ۱۶ تا ۲۲.۵ ولت DC) را حمل می‌کنند.

اتصال موازی:

تمامی دستگاه‌ها به شکل موازی روی این دو سیم مشترک قرار می‌گیرند و نیازی به حلقه یا ترمینیشن مقاومتی خاص (مانند: RS-485) نیست، هرچند محدودیت‌های طول کابل و تعداد دستگاه‌ها (۶۴ عدد در هر خط) باید رعایت شود.

نقش تغذیه باس:

یک منبع تغذیه اختصاصی یا کنترلر می‌تواند ولتاژ DC لازم را در این خط فراهم کند. هر کنترل‌گیر (مثل درایور LED) انرژی اندکی از این باس برای ایجاد ارتباط دریافت می‌کند.

۲. برق اصلی (N و L):

تفکیک از باس DALI: برخلاف دو سیم DA+/DA- که مخصوص سیگنال و تغذیه سطح پایین هستند، سیم‌های L و N مربوط به برق شهر (معمولاً ۲۲۰ یا ۲۳۰ ولت AC) برای روشن کردن لامپ است. هریک از چراغ‌ها یا درایورهای آن‌ها باید به منبع برق اصلی متصل باشند تا انرژی مورد نیاز جهت تولید نور را تأمین کنند. این موضوع استقلال چراغ از باس DALI را نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر اگر DALI وجود نداشته باشد، چراغ همچنان می‌تواند در حالت روشن یا خاموش باقی بماند (بسته به پیکربندی دستگاه).

### اتصالات ضروری و اختیاری در DALI :

ضروری:

- کابل دو سیمه باس (DA+/DA-) : برای تبادل فرمان و داده میان کنترل‌کننده‌ها (Control Devices) و کنترل‌گیرها (Control Gear) اجتناب‌ناپذیر است.
- منبع تغذیه باس DALI باید روی همین کابل دو سیمه اعمال شود (حداکثر جریان و ولتاژ مطابق استاندارد).
- تغذیه برق اصلی (L و N): برای راه‌اندازی چراغ‌ها یا درایور آن‌ها ضروری است.

اختیاری:

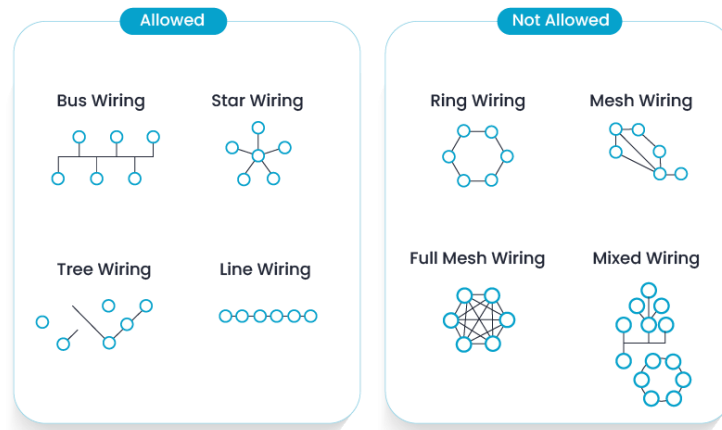
- سنسورها: امکان استفاده از سنسورهای حرکت یا روشنایی وجود دارد که آن‌ها هم به باس DALI وصل می‌شوند و به عنوان کنترلر یا دستگاه کمکی عمل می‌کنند.
- چندمستر (Multi-Master) : می‌توان بیش از یک کنترلر (Master) روی یک خط داشت؛ مثلاً یک کنترلر مرکزی و یک سنسور حرکت که هر دو می‌توانند فرمان ارسال کنند. در این حالت باید اصول تشخیص برخورد سیگنال رعایت شود.
- روتر یا Zone Controller : اگر بیش از یک خط DALI وجود داشته باشد (مثلاً برای کنترل صدها لامپ در یک ساختمان بزرگ)، از ماژول‌هایی برای مسیریابی یا مدیریت خطوط متعدد استفاده می‌شود.

### پیکربندی توپولوژی:

از آنجا که هیچ ترمینیشن مقاومتی پایان خط (Line Termination) شبیه RS-485 نیاز ندارد، نقشه‌های مختلفی از نظر توپولوژی (خطی، ستاره، درختی یا ترکیبی) قابل اجراست. اما دو محدودیت اصلی دارد:

طول کابل کل: حداکثر ۳۰۰ متر (با سیم مسی سطح مقطع ۱.۵ میلی‌متر مربع).

جریان کل باس: حداکثر ۲۵۰ میلی‌آمپر (تا از افت ولتاژ بیش از حد جلوگیری شود).



شکل ۲ توپولوژی سیم کشی در DALI

### اضافه کردن دستگاه جدید:

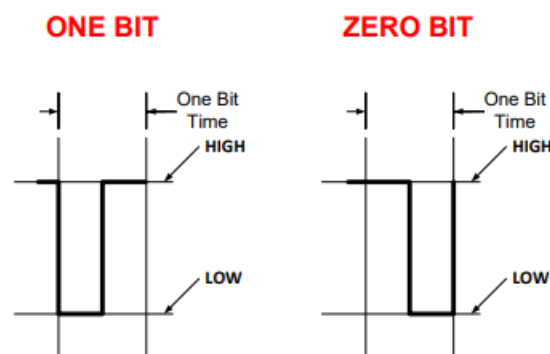
در صورت نیاز به افزودن لامپ یا سنسور جدید، کافی است همان دو سیم DALI به ترمینال‌های مربوطه وصل شود و سپس دستگاه موردنظر آدرس‌دهی و آگاه‌سازی شود.

### ۳- نوع ارتباط (سریال یا موازی)، انکودینگ سیگنال، و روش انتقال

ارتباط در DALI سریال است و تمام داده‌ها به صورت پشت‌سرهم روی یک گذرگاه مشترک دو سیمه ارسال/دریافت می‌شود.

#### • نوع کدگذاری (Encoding)

از کدگذاری منچستر (Manchester Coding) استفاده می‌شود. در این روش، هر بیت در نیمه بازه زمانی‌اش تغییر سطح می‌دهد تا هم کلاک و هم داده در یک سیگنال گنجانده شوند. سرعت انتقال رایج DALI حدود ۱۲۰۰ بیت بر ثانیه است.



شکل ۳ نحوه انکودینگ منچستر

- روش انتقال

انتقال دیتا عملاً همزمان (Synchronous) است. دستگاه فرستنده بیت‌ها را با نرخ ثابت (۱۲۰۰ بیت بر ثانیه) بر اساس فریم DALI ارسال می‌کند. دستگاه دریافت‌کننده نیز با تشخیص لبه‌های منچستر، بیت‌ها را استخراج می‌کند و زمان‌بندی درون قاب رعایت می‌شود

#### ۴- قابلیت اتصال چندین دستگاه/ماژول سخت‌افزاری

می‌توان تا ۶۴ دستگاه را روی یک خط DALI داشت (Control Gear). از سوی دیگر ممکن است چند کنترلر همزمان (Multi-Master) نیز روی خط باشند (مثلاً سنسور حرکت + کنترلر مرکزی).

#### روش اتصال

همه دستگاه‌ها به صورت موازی به آن دو سیم مشترک متصل می‌شوند. یعنی از نظر توپولوژی می‌توان یک خط مستقیم، ستاره یا درخت ترکیبی را پیاده کرد؛ تنها محدودیت آن است که همه به همان دو سیم باس وصل هستند و حداکثر طول و امپدانس خط مطابق استاندارد رعایت شود.

#### مدیریت برخورد سیگنال

پروتکل DALI مکانیزم مدیریت برخورد (Collision) دارد اما به شیوه «Bitwise Arbitration» مانند CAN عمل نمی‌کند. در صورت برخورد، فریم مخدوش می‌شود و هیچ دستگاهی پاسخ معتبر نمی‌دهد؛ کنترلر (یا دستگاه فرستنده) می‌تواند مجدداً تلاش کند.

اگر محیط سامانه کوچک باشد، تعداد برخوردها محدود است؛ در سامانه‌های بزرگ یا حساس از روتر یا کنترلر مرکزی هوشمند برای جلوگیری از برخوردهای مکرر استفاده می‌کنند.

#### چرا قابلیت اتصال چندین دستگاه لحاظ شده است؟

هدف DALI کنترل همزمان چندین چراغ و تجهیزات (مانند درایور LED و سنسور) در یک باس واحد بوده است. بنابراین چنددستگاهی (Multi-Master) بخشی از طراحی اولیه است.

#### ۵- آدرس‌دهی و مسیریابی

#### آدرس‌دهی (Addressing)

۱. هر Control Gear (لامپ یا درایور) دارای یک آدرس کوتاه (Short Address) در بازه ۰ تا ۶۳ است.

۲. گروه آدرس (Group Address) هم وجود دارد (۰ تا ۱۵). اگر یک دستگاه عضوی از گروه باشد و دستوری به آن گروه ارسال شود، آن دستگاه واکنش نشان می‌دهد.
۳. Broadcast: همه دستگاه‌های خط DALI به این فرمان گوش می‌دهند.

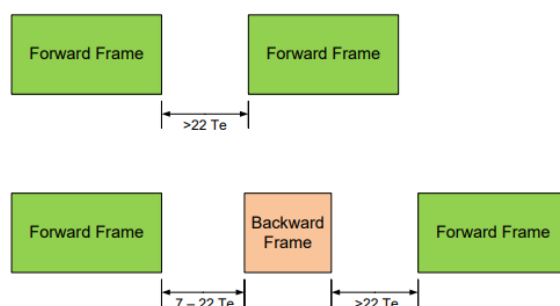
### مسیریابی (Routing)

در حالت عادی، دیتاگرام یا فریم برای یک یا چند خط نیست بلکه برای همان خط محلی ارسال می‌شود. پروتکل DALI مکانیزم روتینگ درونی در سطح شبکه‌ای بزرگ ندارد. برای پروژه‌های وسیع، از روتر یا گیت‌وی برای مدیریت خطوط متعدد استفاده می‌شود. در عمل نیز آن روترها در لایه بالاتر تصمیم می‌گیرند کدام دستور وارد کدام خط DALI شود. پس عملاً مسیریابی پیچیده (مانند TCP/IP) یا توزیع بسته در چند گره نداریم. هر گره با توجه به آدرس کوتاه/گروه/برودکست تشخیص می‌دهد آیا باید پاسخ دهد یا خیر.

## ۶- مدیریت جریان داده در DALI

در پروتکل DALI، مدیریت جریان داده پیچیده‌ای وجود ندارد. «Forward Frame» (FF) دستوری است که کنترل‌کننده (Control Device) به سمت چراغ‌ها یا درایورهای آن‌ها (Control Gear) ارسال می‌کند. «Backward Frame» (BF) نیز پاسخ کوتاهی است که ممکن است از سمت همان چراغ‌ها یا درایورها، در واکنش به بعضی دستورها برگردد. «Te» واحد زمانی نیم بیت (Half Bit) در کدگذاری منچستر است و معمولاً حدود ۴۱۶ میکروثانیه طول دارد؛ یعنی هر بیت کامل در DALI دو برابر این مقدار، یعنی ۸۳۳ میکروثانیه زمان می‌برد.

در ارتباط معمول، کنترل‌کننده ابتدا یک FF می‌فرستد و اگر دستور نیاز به پاسخ داشته باشد، دستگاه‌های هدف زمان دارند تا در فاصله‌ای بین ۷ تا ۲۲ برابر «Backward Frame» Te ارسال کنند. اگر پاسخ نیازی نداشته باشد یا به هر دلیلی مخدوش شود، BF صادر نمی‌شود و کنترل‌کننده پس از حداقل ۲۲ Te (حدود ۹۰۱۷ میلی‌ثانیه) می‌تواند فریم بعدی را بفرستد. به این ترتیب، DALI با قواعد زمانی ساده و سرعت پایین، ساختار قابل اطمینانی برای فرمان‌دهی و دریافت بازخورد از سیستم‌های روشنایی به وجود می‌آورد.



شکل ۴: زمان بندی فریم در DALI

## ۷- نحوه تشخیص خطا در لایه‌های متفاوت

لایه فیزیکی (Physical Layer) :

از Manchester Coding استفاده می‌شود. اگر دستگاه دریافت‌کننده تغییر سطح سیگنال یا زمان‌بندی بیت را مطابق استاندارد تشخیص ندهد، فریم را خطا تلقی و رها می‌کند (Framing Error).  
اگر دو دستگاه هم‌زمان ارسال کنند، برخورد (Collision) رخ می‌دهد و سیگنال خروجی در خط مخدوش می‌شود. در نتیجه، دریافت‌کننده متوجه خطا می‌شود و آن را نادیده می‌گیرد.

لایه داده (Data Link Layer) :

DALI ساختار فریم مشخص دارد (بیت شروع، بایت آدرس و دستور، بیت متوقف‌کننده و...). چنانچه این ساختار رعایت نشود یا یک بیت در جای خود نباشد، خطا اعلام می‌شود.  
دستگاه در صورت خطا، پاسخ (Backward Frame) معتبری ارسال نمی‌کند. کنترلر می‌تواند تلاش مجدد کند.  
لایه‌های بالاتر:

در سیستم DALI لایه‌های بالاتر (برای مثال مدیریت سناریو یا نرم‌افزار راه‌اندازی) ممکن است در صورت عدم دریافت پاسخ درست، مجدداً دستور را بفرستند. اما مکانیزم رسمی تصحیح خطای پیچیده (FEC) در خود استاندارد پایه وجود ندارد.

## ۸- قابلیت تصحیح خطا

DALI فاقد سازوکار خطی برای تصحیح خطا (Error Correction) است.

استراتژی اصلی: اگر تداخلی رخ دهد یا پاسخ معتبری دریافت نشود، قاب خطا تلقی شده و کنترلر (یا نرم‌افزار بالاسری) می‌تواند دستور را تکرار کند.

بنابراین عملاً روش «Discard and Retry» به‌عنوان راهکار برخورد با خطا استفاده می‌شود و هیچ الگوریتمی برای بازسازی بیت‌های از دست‌رفته در خود لایه DALI تعریف نشده است.



## ۹- انواع پیام‌ها و فرمت آنها

۱. Direct Arc Power Commands: مستقیماً سطح نور را در یک مقدار خاص قرار می‌دهد (مثلاً ۵۰٪).
۲. Indirect Arc Power Commands: مقادیر نوری را به صورت غیرمستقیم تغییر می‌دهد (مثلاً دستور «UP»، «DOWN»، یا «GO TO SCENE»).
۳. Configuration Commands: برای پیکربندی ویژگی‌های دستگاه (حداقل سطح نور، رفتار هنگام قطع برق، تنظیم آدرس و...) کاربرد دارد.
۴. Query Commands: پرس‌وجو از وضعیت دستگاه (میزان نور کنونی، خرابی، پیکربندی فعلی...).
۵. Special Commands: معمولاً برای راه‌اندازی و آدرس‌دهی اولیه یا سناریوهای خاص استفاده می‌شود.

### فرمت کلی یک فریم (Forward Frame) در سطح بیت:

شروع فریم با یک بیت «start»

۲ بایت آدرس/دستور (۸ بیت)

قسمتی برای نوع آدرس (فردی/گروهی/برُدکست)

قسمتی برای نوع فرمان (Direct Arc Power یا Command)

اگر دستور نیاز به داده اضافی داشته باشد، یک بایت دیگر هم ارسال می‌شود (معمولاً سطح نور در Direct Arc Power).

۲ بیت توقف (stop bit) یا فاصله مناسب تا بایت بعدی

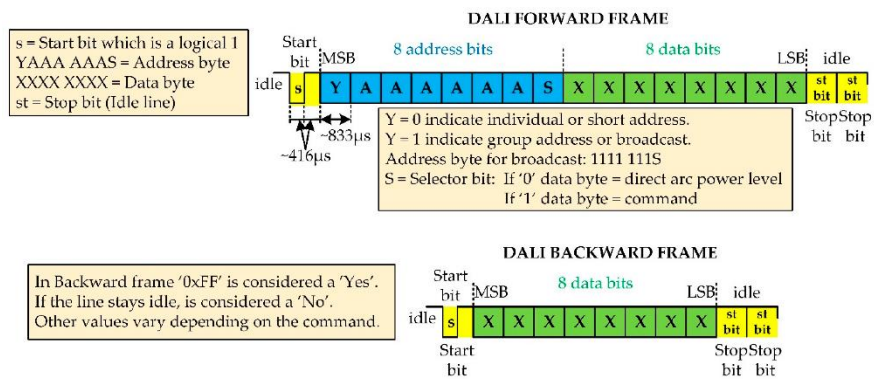
در صورت نیاز، دستگاه هدف پاسخ (Backward Frame) می‌دهد (یک بایت یا عدم پاسخ).

### فرمت کلی یک فریم (Backward Frame) در سطح بیت:

شروع فریم با یک بیت «start»

۲ بایت آدرس/دستور (۸ بیت)

۲ بیت توقف (stop bit) یا فاصله مناسب تا بایت بعدی



شکل ۵ ساختار کلی فریم های پروتکل DALI

## جمع بندی

پروتکل DALI یک روش ساده، انعطاف پذیر و دیجیتال برای کنترل روشنایی است که مهم ترین ویژگی آن آدرس دهی اختصاصی، امکان گروه بندی، تعامل دوطرفه (دریافت بازخورد)، و اجرای سناریوهای متعدد است. این پروتکل به واسطه سرعت پایین اما کافی، ساختار ساده در لایه فیزیکی (دو سیم مشترک)، و مکانیزم های پایه ای برای تشخیص خطا به خوبی در ساختمان های تجاری و صنعتی به کار رفته است. مدیریت برخورد سیگنال و تکرار فرمان در صورت خطا، اجرای پایدار را ممکن می کند و برای پروژه های بزرگ می توان چندین خط را با روتر یا گیت وی به هم پیوند داد. هیچ مکانیسم تصحیح خطا (FEC) پیچیده ای در این استاندارد وجود ندارد و همین سادگی باعث محبوبیت آن در حوزه کنترل روشنایی شده است.

## مراجع

1. <https://ozuno.com/downloads/training/02%20-%20DALI%20ADVANCED%20THEORY.pdf>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Addressable\\_Lighting\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface)
3. <https://onlinedocs.microchip.com/oxy/GUID-0CDBB4BA-5972-4F58-98B2-3F0408F3E10B-en-US-1/GUID-910C4B97-3A38-4F04-A78A-DF74EE1A3612.html#GUID-910C4B97-3A38-4F04-A78A-DF74EE1A3612> FIG KCF MKF NDB
4. <https://www.nvcuk.com/technical-support/view/what-is-dali-8>