

# الوحدة الرابعة

برمجة طبقة ربط البيانات

Data-Link Layer  
Programming

## 2. طبقة ربط البيانات والخدمات التي تقدمها

- طبقة ربط البيانات هي صلة الوصل الأساسية بين فعاليات طبقة الشبكة والإشارات الفيزيائية التي توجه من المرسل إلى المستقبل أو بالعكس

### • 1.2 الخدمات المقدمة إلى طبقة الشبكة Services Provided to Network Layer

- تقدم طبقة البيانات إلى طبقة الشبكة مجموعة خدمات يمكن تصنيفها كما يلي:
- 1. خدمات غير موجهة وبدون إعلام بالاستلام Unacknowledged connectionless services
- لا تقوم هذه الخدمات بأية محاولة لاكتشاف الأطر المفقودة أو التي تعرضت للتخريب أثناء عملية النقل.
- كما أن هذه الخدمات مفيدة في مجال تبادل البيانات في الزمن الحقيقي real-time traffic مثل الصوت والفيديو

## 2. خدمات غير موجهة مع إعلام بالاستلام connectionless services

- هذه الخدمات تضمن تعرف المستقبل على كل إطار تم استقباله من خلال إشارة إعلام بالاستلام  
acknowledge يرسلها المستقبل، مما يسمح للمرسل بالتأكد من الإطار التي وصلت إلى المستقبل بشكلها الصحيح

## 3. خدمات موجهة مع إعلام بالاستلام Acknowledged connection-Oriented services

- هذه الخدمات تضمن وصول وصول البيانات من خلال ترقيم الأطر وبالتالي تحديد تتاليها بحيث يجري تقديمها إلى طبقة الشبكة كدفق خانات ثنائية مضمون.

## 2.2 كشف الخطأ

- تظهر معظم الأخطاء في الشبكة في مرحلة النقل عبر الوسط الفيزيائي.
  - إحدى مهمات طبقة نقل البيانات بالمشاركة مع الطبقات الأعلى، هي كشف الأخطاء التي تحصل عند نقل البيانات عبر الطبقة الفيزيائية.
- تتلخص الإستراتيجية المتبعة في التعامل مع الأخطاء بما يلي:
1. التغاضي عن الخطأ وتجاهله.
  2. الإعلان عنه وطلب إعادة الإرسال.
  3. تصحيح الخطأ.

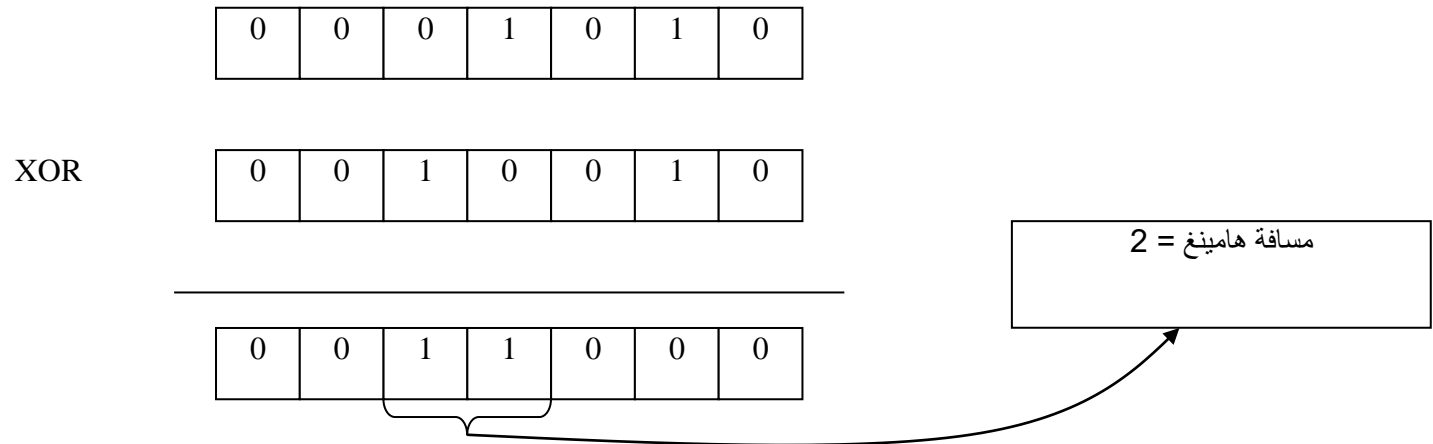
- تعتبر طريقة اختبار خانات الفائض الدوري Cyclic Redundancy Check CRC أو اختبار المجموع Checksum أسرع وأكثر الطرق استخداماً لاختبار الخطأ.

- ولا بد من التنويه إلى أن العالم الرياضي هامينغ Hamming قد وضع الأسس الرياضية التي اعتمدتها معظم طرق كشف الخطأ وتصحيحه.

- تعتمد معظم طرق كشف وتصحيح الخطأ على إضافة خانات ليست من ضمن الرسالة الفعالة يطلق عليها الخانات الفائضة Redundant Bits. ويتناسب عدد الأخطاء الممكن تصحيحها طردياً مع عدد الخانات الفائضة.

وهكذا فإن مسافة هامينغ لكلمتي الشيفرة 0001010 و 0010010 هو 2 كما يبين الشكل (2).

## • الشكل (2) حساب مسافة هامينغ









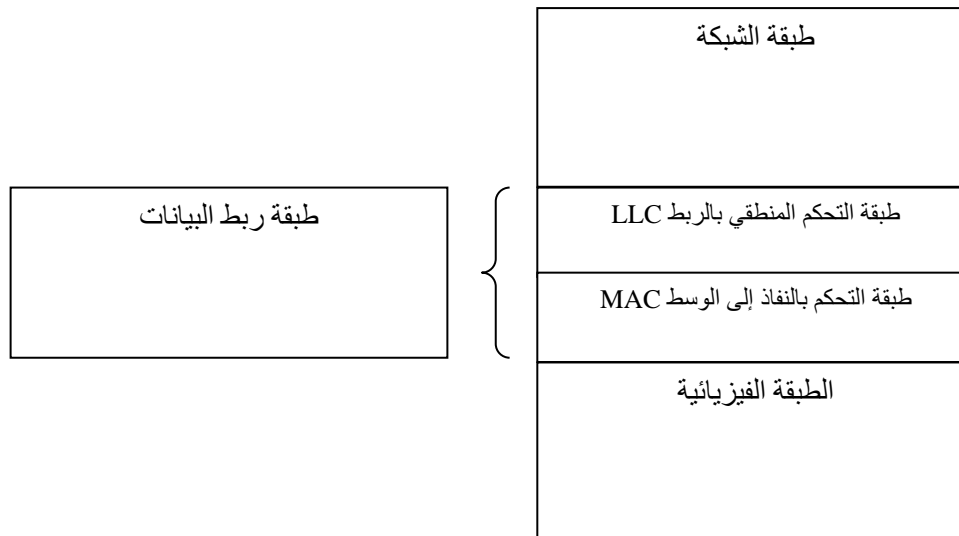






## 5.2 تقسيمات المشروع 802.x لطبقة ربط البيانات IEEE-802.x Standard

- قدم معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE تعديلاً على نظام الربط الداخلي المفتوح OSI من خلال تقييس 802.x حيث اهتم تقييس 802.2 بشكل خاص بتقسيم طبقة ربط البيانات في تقييس OSI إلى طبقتين فرعيتين كما في الشكل (9) هما
  - طبقة التحكم بالنفاذ إلى الوسط Media Access Control .MAC
  - طبقة التحكم المنطقي بالربط Logical Link Control LLC



- قد اهتمت تقييسات 802.x بمختلف مواصفات هيكليات الشبكات المعروفة إذ اختص
- 1. التقييس 802.1 بالتشبيك الداخلي وبروتوكولاته و تحديد مواصفات الجسور المعتمدة بروتوكول شجرة المسافة spanning tree، واختص
- 2. التقييس 802.2 بطبقة التحكم المنطقي بالربط LLC Logical Link control للشبكات المحلية وشبكات المدن، واختص
- 3. التقييس 802.3 بطبقة MAC للشبكات التي تستخدم بروتوكول تحسس الحامل عند النفاذ المتعدد مع كشف الحامل Carrier Sense Multiple Access/Carrier Detection (CSMA/CD) التي تعتبر أساس جميع الشبكات المعتمدة تقييس إيثرنت، واختص
- 4. التقييس 802.4 بطبقة MAC بالشبكات التي تعتمد تمرير العلام Token Passing، واختص
- 5. التقييس 802.5 بطبقة MAC بالشبكات التي تعتمد حلقة العلام Token Ring واختص
- 6. التقييس 802.6 بشبكات MAN (Metropolitan Area Network) واختص
- 7. التقييس 802.7 بالشبكات عريضة الحزمة التي تحمل البيانات والصوت والصورة العادية والفيديوية، واختص
- 8. التقييس 802.8 بالألياف الضوئية وتقنياتها، واختص
- 9. التقييس 802.9 بشبكات الصوت البيانات المتكاملة أي للواجهة البينية بين شبكة LAN ووصلات ISDN، واختص
- 10. التقييس 802.10 بسرية الشبكات Network Security، واختص
- 11. التقييس 802.11 بالشبكات اللاسلكية، واختص
- 12. التقييس 802.12 بشبكات LAN التي تتميز بالوصول وفقاً لأولوية الطلب Demand Priority Access LAN.

طبقة التحكم بالنفاذ إلى الوسط Media Access Control MAC  
التي يلقي على عاتقها بشكل عام مهمة:

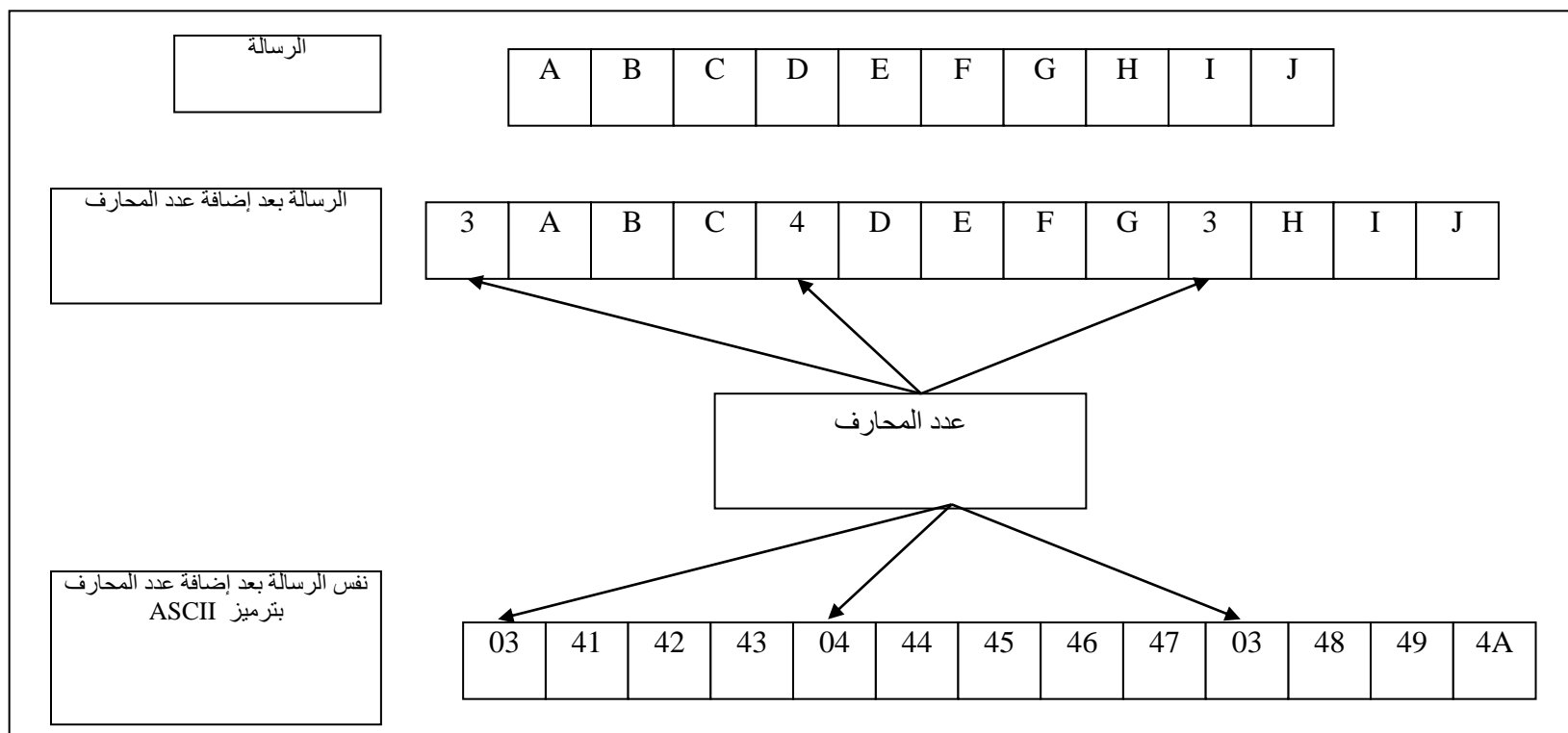
1. السماح بوصول متوازن لجميع مستخدمي الشبكة.
2. الاستخدام الفعال لوسط النقل.
3. زمن تأخير وصول منخفض.
4. كشف الأخطاء.

بينما يلقي على عاتق طبقة التحكم المنطقي بالربط Logical  
Link Control LLC وهي نقطة الالتقاء مع طبقة  
الشبكة توصيف النقل بين المحطات المختلفة بما في ذلك  
معالجة الأخطاء والتأخير الذي يعتبر النقطة المركزية في  
برمجة الشبكات والذي سنفرد له حيزاً مناسباً في هذا  
الفصل وسنبداً بتوصيف الأطر المستخدمة في تراسل  
البيانات.

## 1.3 التّأطير Framing

- ترافق تأطير البيانات المتبادلة مع التراسل التسلسلي منذ بداياته، فجاءت إضافة خانات البدء والإنهاء ومن ثم الترويسات والتذييلات التي تضم عدداً من البايتات والتي تشكل جزءاً من منظومة المراقبة والتحكم بالتراسل وتضم بيانات تزامن أو بيانات تفيد بكشف ومعالجة الأخطاء إلى آخر ما هنالك
- فلكي نرسل الرسالة "ABCDEFGHIJ" على ثلاث دفعات منفصلة عن بعضها البعض فإننا نوّطرها كما يلي:  
"3ABC4DEFG3HIJ" كما يبين الشكل (10).

# • الشكل (10) عدد المحارف





## 4. العناصر الأساسية في برمجيات طبقة ربط البيانات

- سنلخص فيما يلي العناصر البرمجية الأساسية التي سنستخدمها في برمجة طبقة ربط البيانات والتي سنقسمها إلى:

### 1. الأحداث Events والتي هي غالباً أحداث غير متزامنة وأهمها:

- حدث اكتشاف خطأ اختبار الجمع checksum\_err الذي يحصل عند اكتشاف الطبقة الفيزيائية لخطأ اختبار الجمع (checksum error).
- حدث وصول الإطار frame\_arrival والذي يحصل عندما استقبل الطبقة الفيزيائية لإطار بشكل صحيح.
- حدث استنفاد الوقت المتاح timeout والذي يحصل عند انتهاء توقيت أحد الموقتات التي تم ضبطها مسبقاً.

2. الطريقة `to_physical_layer(frame s)` التي ترسل الإطار `s` إلى الطبقة الفيزيائية في نفس العقدة.

3. الطريقة `from_physical_layer(frame r)` التي تستقبل الإطار `r` من الطبقة الفيزيائية في نفس العقدة.

4. الطريقة `to_network_layer(packet p)` التي تنقل رزمة البيانات `p` إلى طبقة الشبكة.

5. الطريقة `from_network_layer(packet p)` التي تستقبل رزمة البيانات `p` من طبقة الشبكة.

6. الطريقة `wait_for_event(event e)` التي تنتظر قدوم أي حدث من خلال حجب استدعاءات التوابع حتى وصول حدث ما، حيث يحدد الوسيط `e` نوعية هذا الحدث.

7. الطريقة `start_timer(seq_nr k)` التي تقلع بالموقت رقم `k` لمدة زمنية تحدد بالميلي ثانية. وعند انقضاء هذه المدة يتولد حدث استنفاد الوقت `timeout event`.

8. الطريقة stop\_timer(seq\_nr k) التي توقف الموقت رقم k.

9. البيانات packet التي تمثل وتوصف بنسق من الخانات الثمانية array of bytes أو سلسلة نصية string.

10. الإطار frame وهو إطار طبقة ربط البيانات الذي يمرر إلى الطبقة الفيزيائية والمؤلف من أربعة حقول أساسية هي:

1. نوع الإطار kind والذي يقتصر على كونه إطار بيانات data أو إعلام بالاستلام ack أو عدم إعلام بالاستلام nak.

2. رقم تتالي الإطار seq المحدد لرقم الإطار ضمن مجموعة الأطارات.

3. رقم الإعلام بالاستلام على الإطار frame acknowledgment number.

4. حقل معلومات info يتضمن على معلومات تخص البيانات المرسلة ضمن الإطار مثل كون البيانات المستقبلية، مرسلة إلى أو من طبقة الشبكة.

- وقبل أن نبدأ تعاملنا مع البروتوكولات فإننا سندرج الأصناف التي يمكن استخدامها من أجل تحقيق العناصر البرمجية الأساسية التي سبق ذكرها.

- يعد الصنف Constants من أجل تعريف مجموعة الثوابت المستخدمة في عملية الإرسال كما في الشكل (12) ونستطيع أن نعرف ثوابت أخرى ضمن هذا الصنف إذا دعت الحاجة لذلك.

```
public class Constants { •  
    public static final int buffersize = 13; •  
    public static final int lostframes = 5; •  
    public static final int timeout = 1000; •  
} •
```

- الشكل (12) تعريف الصنف Constant

- بينما يعرف الصنف protocol المبين في الشكل (13) مايلي:
- الأحداث على شكل متغيرات من النوع int بحالتها الأولية
- الطريقة to\_network\_layer(String s) التي تطبع الرسالة الواردة لها.
- الطريقة from\_network\_layer () التي إعلام بالاستلام مخزناً مؤقتاً للبيانات القادمة.

```
public class Protocol {
    public final static int frame_arrival = 0;
    public final static int chksum_err = 1;
    public final static int timeout = 2;
    public static void to_network_layer(String s)
    {
        System.out.print(s);
    }
    public static String from_network_layer()
    {
        byte buffer[] = new byte[Constants.bufferSize];
        try { System.in.read(buffer); }
        catch (Exception e) {}
        String s = new String(buffer,0);
        return s;
    }
}
```

• الشكل (13) الصنف Protocol

## 5. برمجة بروتوكولات طبقة التحكم بالربط المنطقي (LLC) Logical Link Control

- تعتبر بروتوكولات طبقة الربط المنطقي المسؤولة عن تراسل الإطارات بين عمليات الطبقات المتماثلة، وأهم هذه البروتوكولات هي:

### • 1.5 البروتوكول البسيط غير المقيد Unrestricted Simplex Protocol

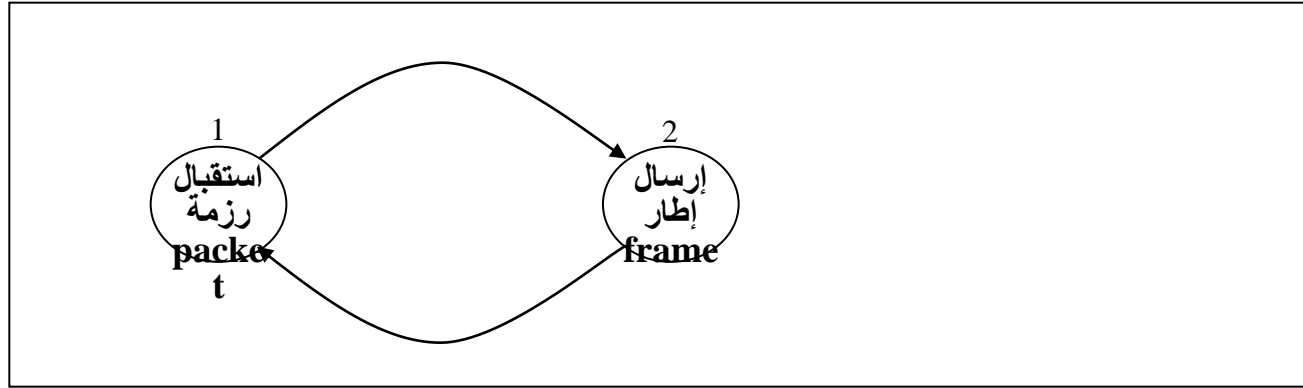
- يحمل اسم هذا البروتوكول simplex حقيقة أن هذا البروتوكول معد لنقل البيانات في اتجاه واحد

- يتركز البناء البرمجي على:

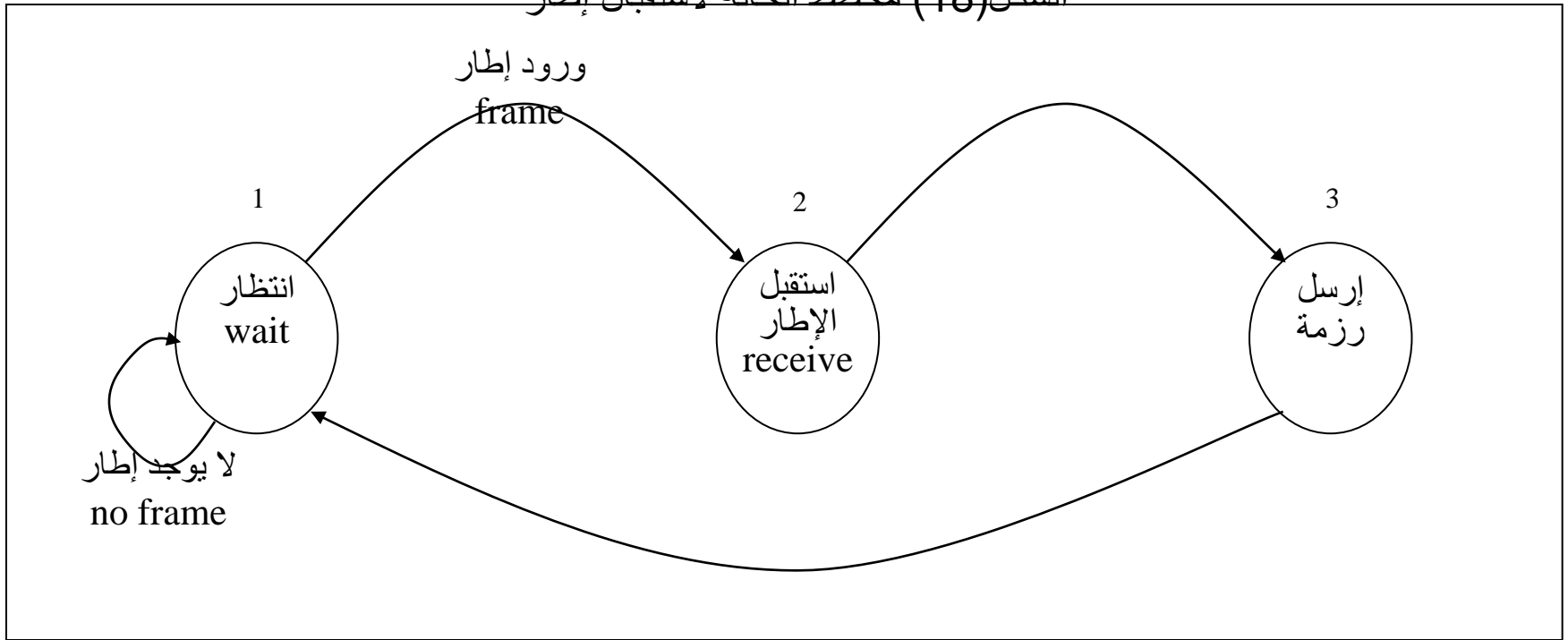
1. استقلالية العمليات على جانبي المرسل والمستقبل
  2. تزامن العمليات حيث نفترض أن عمليتي الإرسال والاستقبال تبدأن في نفس اللحظة
  3. تمرر طبقة ربط البيانات الأطر التي تحتوي على الرزم إلى الطبقة الفيزيائية.
  4. تمرر طبقة الشبكة الرزم إلى طريقة ربط البيانات.
- الشكل (16) شكل الإطار الافتراضي

معلومات info		إعلام بالاستلام ack	تتالي seq

- ويبين الشكل (17) مخطط الحالة لتبادل البيانات



الشكل (18) مخطط الحالة لاستقبال إطار





# Protocol 1 – Simplex

## Process A

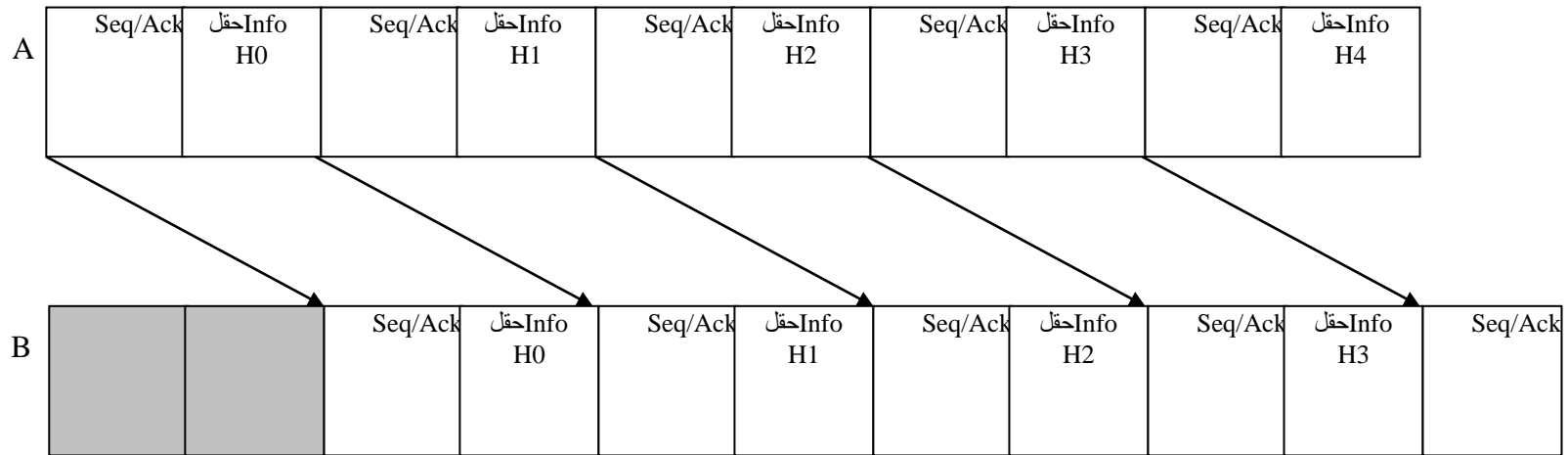
```
void sender1(void) {  
    frame s;  
    packet buffer;  
    while (true) {  
        from_network_layer(buffer); //1. get packet  
        s.info = buffer;  
        to_physical_layer(s);           //2. send frame  
    }  
}
```

## Process B

```
void receiver1(void) {  
    frame r;  
    event_type event;  
    while(true) {  
        wait_for_event(event);    // 1. wait  
        from_physical_layer(r);    // 2. receive  
        frame  
        to_network_layer(r.info); // 3. put packet  
    }  
}
```

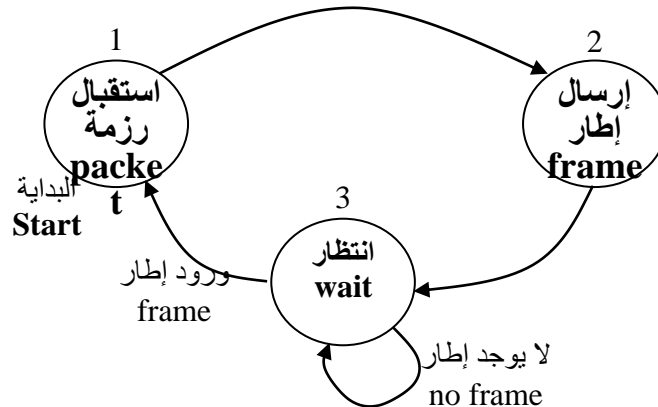
تتمتع قناة الاتصال بعامل استخدام يصل إلى 100%

- الشكل (20) نقل البيانات بعد الاستحواذ الكلي على قناة الاتصال

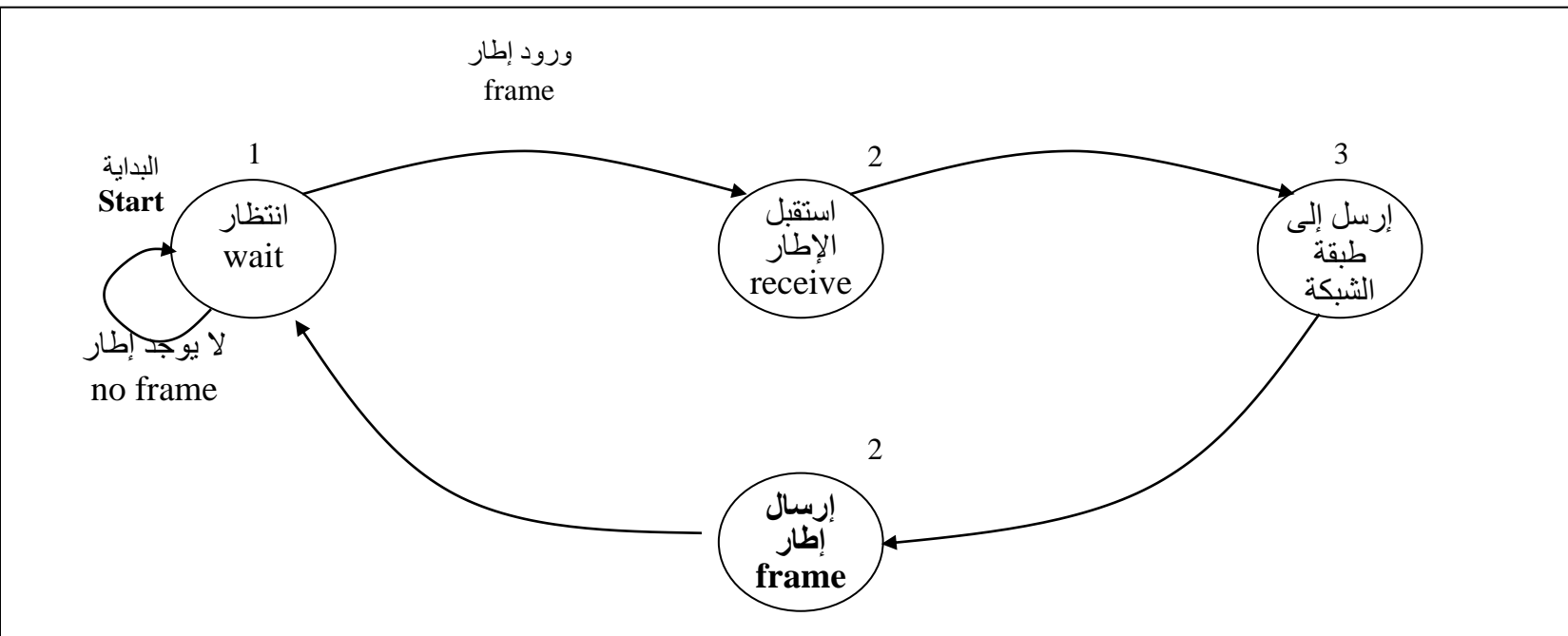


## 2.5 بروتوكول التوقف والانتظار البسيط A Simplex Stop-and-Wait Protocol

- أي أننا سنفترض انتقال البيانات في هذا البروتوكول أيضاً باتجاه واحد إضافةً إلى موثوقية قناة الاتصال، إلا أننا سنفترض أن المستقبل ليس في حالة جهوزية دائمة وبالتالي لا يمكن للمرسل أن يقوم بإرسال الإطار التالي قبل أن يحصل على تأكيد المستقبل باستلامه الإطار الذي سبقه كما يبين الشكل (21). الشكل (21) حالة الانتظار على جانب المرسل



- يقتضي ذلك تفاهم المرسل والمستقبل حتى لا يرسل المرسل إطاره التالي إلا بعد أن يتم المستقبل استقباله للإطار المرسل كما في الشكل (22). لذلك فإذا قام المستقبل بإرسال إطار فارغ فإن ذلك يعتبر بمثابة دعوة للمرسل للانتظار قبل أن يرسل إطاره التالي. الشكل (22) إرسال الإطار الفارغ من المستقبل



## Process A

```
void sender2(void) {  
    frame s;  
    packet buffer;  
    event_type event;  
    while (true) {  
        from_network_layer(buffer); // 1. get packet  
        s.info = buffer;  
        to_physical_layer(s);      //2. send frame  
        wait_for_event(event);     //3. confirm wait  
    }  
}
```

## Process B

```
void receiver2(void) {  
    frame r;  
    frame s;  
    event_type event;  
    while(true) {  
        wait_for_event(event);    //1. wait  
        from_physical_layer(r);    //2. receive frame  
        to_network_layer(r.info); //3. put packet  
        to_physical_layer(s);      //4. send confirm  
    }  
}
```

- يقدم إذا البروتوكول إضافة مهمة على البروتوكول البسيط غير المحدود وهي التحكم بدفق البيانات عن طريق انتظار المرسل إشارة الإعلام بالاستلام من المستقبل، هذا الذي لم يكن موجوداً ولم يؤخذ بعين الاعتبار في البروتوكول السابق.

- إلا أنه لا يزال هنالك مسألتان يجب التغلب عليهما وهما:

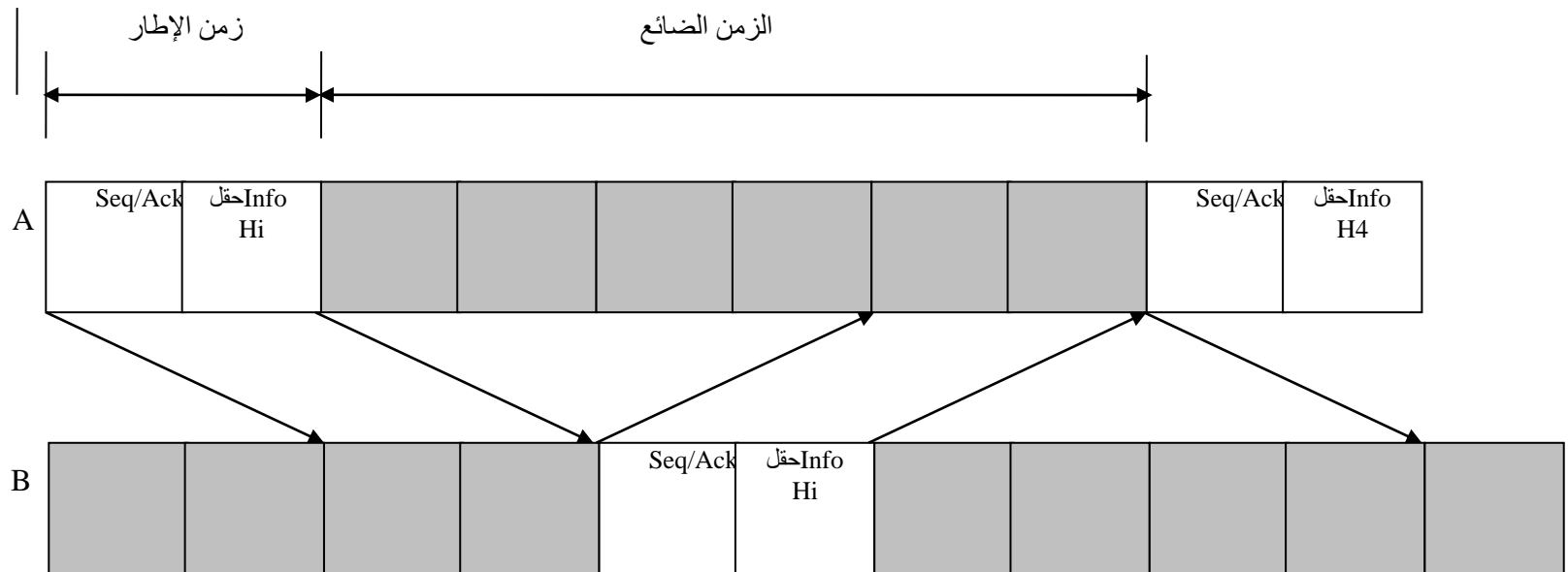
1. مسألة التوقف التام الناجم عن إقفال حلقة الإرسال/الاستقبال في انتظار متبادل .

2. مسألة التأخير الزمني الذي يتجلى بتزايد زمن انتظار المرسل لإشارة الإعلام بالاستلام والذي ينجم عادةً عن عامل استخدام القناة .



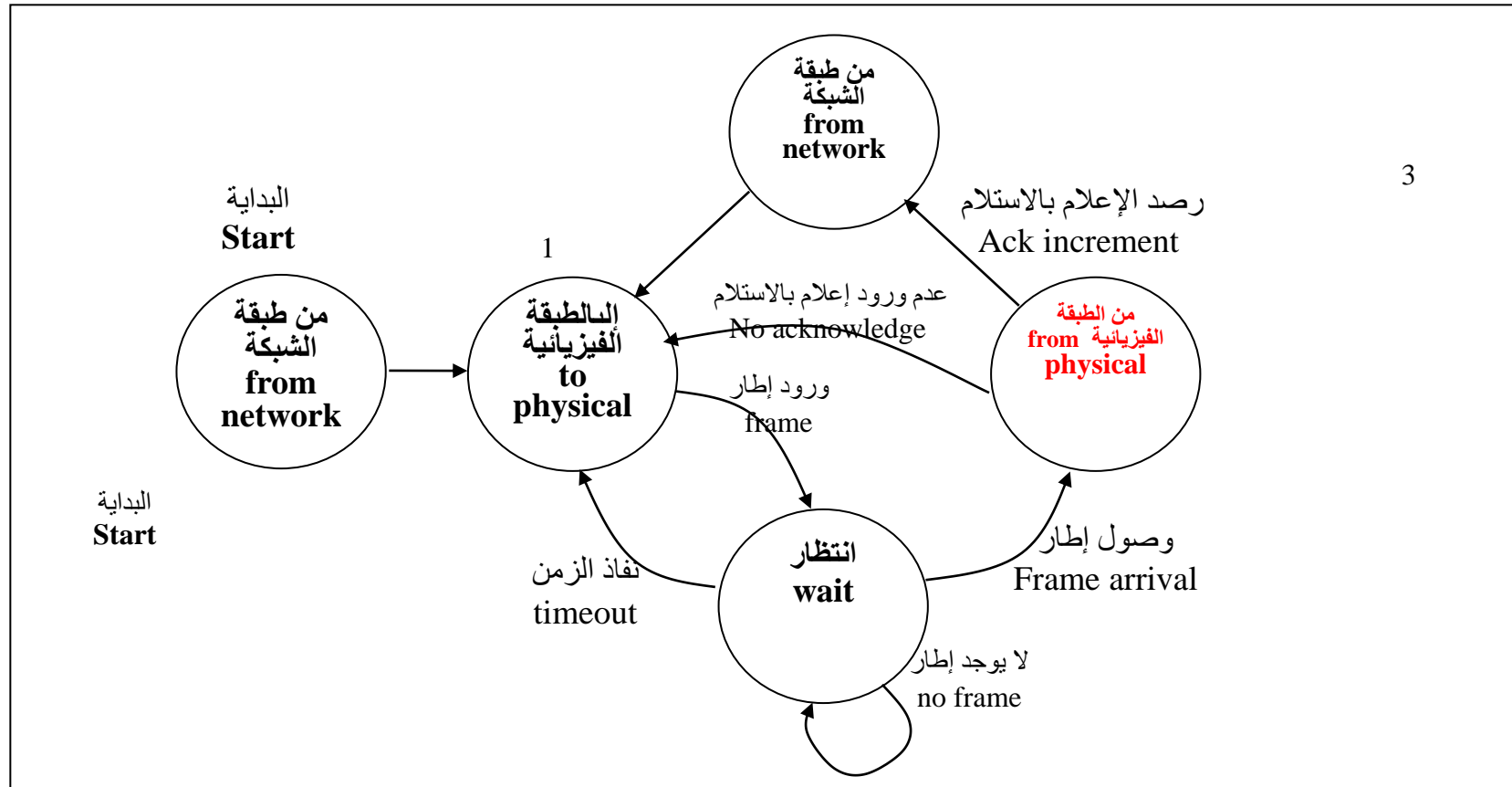
وكما يبين الشكل (24) يكون عامل استخدام القناة هو 25% أي أن الزمن الضائع هو 75%.

- الشكل (24) يبين الزمن الضائع البالغ 75% من سعة القناة

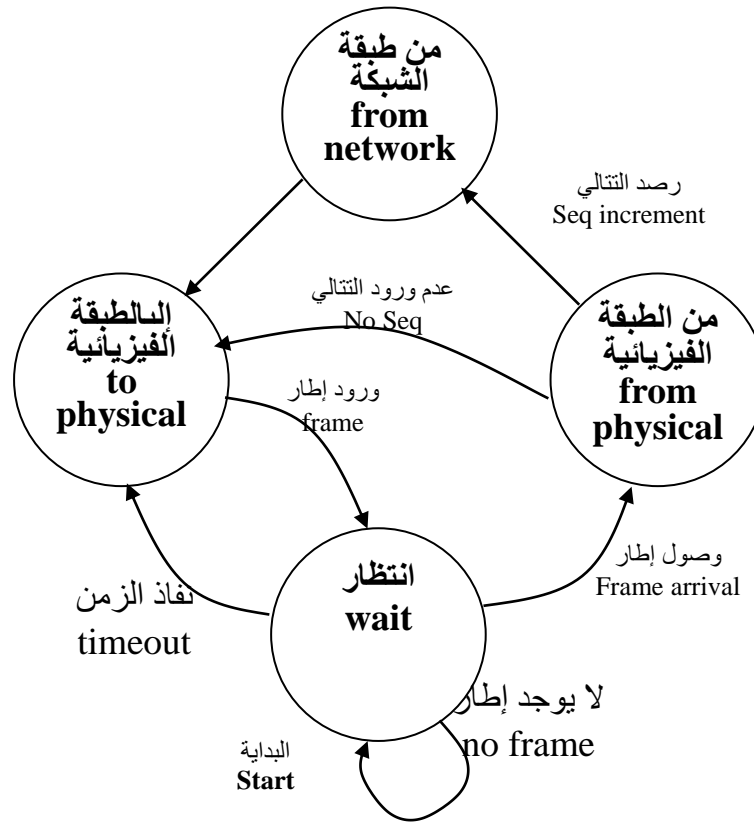


## 3.5 البروتوكول البسيط لقناة ضجيج Simplex Protocol for a Noisy Channel

- يدخل اعتبار الضجيج في القناة مجموعة عوامل تجعل مسألة البروتوكول البسيط أكثر تعقيداً.
- الشكل (26) جانب المرسل في البروتوكول البسيط بوجود ضجيج



## الشكل (27) جانب المستقبل في البروتوكول البسيط بوجود ضجيج



## 4.5 بروتوكولات النافذة المنزلقة sliding window protocols

- يقلل استخدام النافذة المنزلقة من عامل استخدام قناة الاتصال الذي يفرض في البروتوكولات السابقة على المرسل انتظار إشارة إعلام بالاستلام المستقبل التي يرسلها بعد استقباله الإطار المرسل وقبل شروعه بإرسال الإطار التالي.

### • نافذة الإرسال Sender window

- يسمح البروتوكول البسيط لقناة بوجود الضجيج Simplex Protocol for a Noisy Channel بتحديد توقيت إعادة إرسال الأطر التي لم يتم الإعلام بالاستلام عليها، فإذا تم تجهيز المرسل بإمكانية تخزين أطر مرسله بحيث يتمكن من إعادة إرسالها إذا لم تنجح عملية الإرسال قبل نفاذ الزمن timeout، فإن عدد الأطر التي يتم تخزينها في طرف المرسل يطلق عليه اصطلاح "طول نافذة الإرسال sending window size".

# نافذة الاستقبال receiver window

- لا بد للمستقبل من ضمان تمرير البيانات إلى طبقة الشبكة بنفس التسلسل التي وردت فيه إليه من المرسل. يتضمن ذلك انتظاره للأطر التي قد يعاد إرسالها قبل تمريرها إلى طبقة الشبكة. تسمح نافذة الاستقبال receive window بتحقيق ذلك من خلال تخزين مجموعة الأطر الواردة من المرسل قبل تسليمها إلى طبقة الشبكة من أجل إعادة ترتيبها

## • 5.5 بروتوكول النافذة المنزلقة لخانة ثنائية واحدة 1-bit

### Sliding Window Protocol

الشكل (31) التالي دخول كافة حقول الإطار في عملية التبادل .



```
void protocol4( ) {
    seq_nr next_frame_to_send, frame_expected;
    frame r;
    frame s;
    packet buffer;
    event_type event;
    next_frame_to_send = 0;           // Send frame 0
    frame_expected = 0;               // Expecting to receive frame 0
    from_network_layer(buffer);
    while (true) {
        s.info = buffer;              // Send new frame or resend old
        s.seq = next_frame_to_send;   // frame if no ACK due to timeout
        s.ack = 1 - frame_expected;   // ACK last frame number received
        to_physical_layer(s);         // ⇒
        start_timer(s.seq);           // Start timer for this send frame
        wait_for_event(event);
        if( event == frame_arrival) { // not a timeout
            from_physical_layer(r);  // ←
            //If correct frame pass to network
            if(r.seq == frame_expected) {
                to_network_layer(r.info); // ↑
                frame_expected =           // Update next frame expected
                    (frame_expected+1)%2;  // (0 ⇒ 1 or 1 ⇒ 0)
            }
            // If correct ACK received get new
            if(r.ack == next_frame_to_send) {
                from_network_layer(buffer); // packet to send
                next_frame_to_send =       // Update next frame to send
                    (next_frame_to_send+1)%2; // (0 ⇒ 1 or 1 ⇒ 0)
            }
        }
    }
}
```

## 6. طبقة التحكم بالولوج إلى الوسط Medium Access control MAC

- تقوم بروتوكولات الولوج إلى الوسط MAC protocols بتنظيم الوصول إلى وسط النقل بين مختلف العقد المتشاركة في عملية التراسل. وتعرف هذه البروتوكولات الشروط الترددية أو الزمنية لحزمة الأقنية التي يمكن لطرف الإرسال استخدامها لإنجاز هذه العملية. وتتحدد شروط الوصول بنوع الربط بين العقد الذي يمكن وضعه تحت تصنيفين رئيسيين هما:

1. ربط نقطة إلى نقطة point to point.

2. ربط البث Broadcast عبر خط أو وسط مشترك.

- ومن وجهة النظر العامة فإننا نطلق على البروتوكولات التي تهتم بتنظيم تبادل البيانات عند مستوي الإشارة في حالة البث

Broadcast، بروتوكولات الولوج المتعدد Multiple Access Protocols

## 1.6 بروتوكولات الولوج المتعدد Multiple Access Protocol

- بروتوكولات الولوج المتعدد هي خوارزميات موزعة تقوم بتحديد الكيفية التي تتقاسم بها العقد قناة التراسل عند يكون هنالك احتمال إرسال أكثر من إشارة على نفس القناة.
- وبالتالي فإن مهام هذه البروتوكولات تتلخص في كشف حالة التصادم وكيفية معالجة ما يمكن أن ينجم عنها أو بمحاولة تجنب الوقوع في مثل هذه الحالة من خلال مجموعة بروتوكولات أشهرها:
- ألوها ALOHA.
- الولوج المتعدد بتحسس الناقل Carrier Sense Multiple Access CSMA في حالتها:
  - كشف التصادم Collision Detection CD.
  - وتجنب التصادم Collision Avoidance CA.



## 2.6 بروتوكول الولوج المتعدد بتحسس الناقل مع كشف التصادم CSMA/CD

- سنبدأ بالتعريف ببعض المصطلحات المستخدمة في دراستنا لبروتوكولات تحسس الحامل، إذ نفهم من:

1. تحسس الحامل *Carrier sense*

2. الولوج المتعدد *Multiple access* والمقصود منه أنه يمكن لأكثر من محطة أن تتنافس على حقوق الإرسال في نفس اللحظة

3. كشف التصادم *Collision detection*

4. فراغ ما بين الأطر المتعاقبة *InterFrame Gap*  
**IFG** والفراغ الأصغري بين الأطر هو زمن 96 خانة ثنائية ويبلغ عند 9.6mecs/S 10Mbps.

## 3.6 برمجة بروتوكول الولوج المتعدد بتحسس الناقل مع تجنب التصادم CSMA/CA

- يعرف البروتوكول 802.11 قواعد التراسل عبر طبقة النفاذ إلى الوسط للولوج المتعدد مع تجنب التصادم، والذي ينتشر بشكلٍ واسع عند التراسل اللاسلكي.

- المصافحة Handshake بين المرسل والمستقبل

- الشكل (37) حالة تجنب التصادم

