

『はじめて学ぶ情報通信』

演習問題 解答

(2016年9月1日現在)

○ 1章

【1.1】

少なくとも3個の人工衛星と通信している。人工衛星はおよそ20万kmの高度を12時間の周期で周回している。障害物がなければ、地上からは、少なくとも6個が常に視野に入る位置関係にある。人工衛星からの電波の到着時刻差、および、人工衛星の位置データを使って現在位置を算出する。詳細は8.1.4項で説明する。

【1.2】

(解答例) 自動運転技術は、現在のナビゲーションシステムが進化した形態として注目されている技術である。現在の自動車を「車輪の付いたコンピュータ」とすれば、将来の自動運転車は「車の制御もできる、車輪の付いた超高機能スマホ」とでもいうべき存在である。基本的には図1.1の端末が自動車に置き換わったものと考えても良いが、従来のスマホ以上に高度な情報通信機能が必要となる。例えば、エンジンやブレーキ、ハンドルなどの状態を正確に計測する各種センサー、および、それらを駆動するためのアクチュエータ(信号を受け取り実際の運動機能に変換する装置)、センサ、アクチュエータと「超高機能スマホ」をつなぐ自動車内ネットワーク、外部データベースと詳細地図や渋滞情報など情報を瞬時にやりとりするための高度な通信機能、などである。さらに人間の生命を預かる自動車では、いわゆるフリーズや誤動作による車の暴走は許されず、従来と比較して格段に高い信頼性が要求される。これらは正に高度な情報通信技術であって、現状技術の一層の進展が期待されている。

参考文献として以下の総務省の資料を紹介する(2016年8月現在)。

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc241210.html>

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc241220.html>

これらは、情報通信白書平成27年度版の一部である。本編第2部「ICTが開く未来社会」第4章「暮らしと未来社会」第1節「ICT端末の新形態」の中で、「コネクティッドカー」「オートノマスカー」として詳細技術が説明されている。

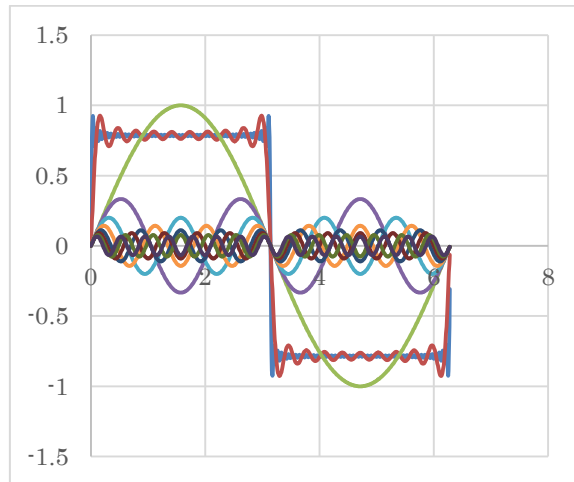
○ 2章

【2.1】

矩形波のフーリエ級数は下記のように表せる。

$$f(x) = A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin\{(2n-1)x\}$$

グラフに書くと**解図2.1**のようになり、正弦波を重ねるごとに矩形波に近づくことが確認できる。図では $A=1$ として計算したが、 $A=\frac{4}{\pi}$ とすれば $[-1, 1]$ の間で変化する矩形波となる。



解図 2.1

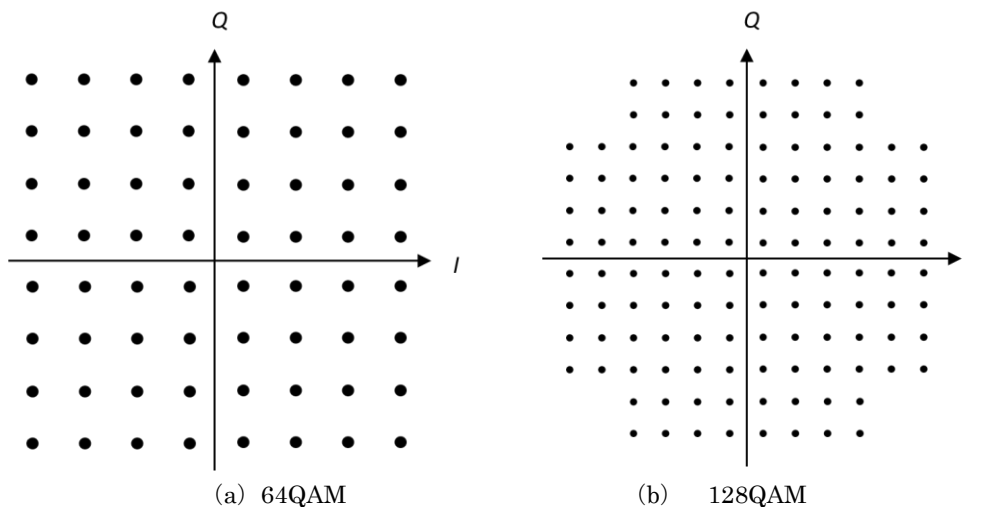
【2.2】

音声信号に含まれる最高周波数が 20 kHz であるから、最低サンプリング周波数としては、その 2 倍の 40 kHz を選ぶ必要がある。実際の音楽用 CD では 44.1 kHz、最先端の「ハイレゾ」と呼ばれている高解像度音源ソースでは、96 kHz や 192 kHz などのサンプリング周波数がそれぞれ使われている。サンプリング周波数が高いほど、原理的には、高い周波数の信号再生が可能となる。

【2.3】

二つの信号周波数の和の周波数でサンプリングすれば良い。実際の確認は読者にゆだねる。

【2.4】 解図 2.2 のようになる。



解図 2.2

【2.5】

A に対しては，G と B の内積を計算すれば良い。すなわち

$$2 \times 1 + (-2) \times (-1) + 0 \times 1 + 0 \times (-1) = 4$$

$$(-2) \times 1 + 2 \times (-1) + 0 \times 1 + 0 \times (-1) = -4$$

$$0 \times 1 + 0 \times (-1) + 2 \times 1 + 0 \times (-1) = 4$$

となり，A が再現できる。D も同様である。

○ 3章

【3.1】

各自，インターネットで検索してみる。例えば

http://livedoor.blogimg.jp/syoyafunabashi-pc_syoya/imgs/e/c/ecff3636-s.png

が参考になると思われる (2016 年 8 月現在)。およそ 2 GHz 前後であることが多い。また，自分のスマホで使っている周波数を表示できるアプリもあるようだが，インストール，実行などは自己責任ですること。

もし電波の周波数が 2 GHz の場合，音声周波数を 20 kHz とすれば， $2 \text{ GHz} \div 20 \text{ kHz} = 10^5$ 倍，つまり，音声周波数のおよそ 10 万倍となる。

【3.2】

- ・ LNA: Low Noise Amplifier (機能と使い方については 42 ページ参照)
- ・ PA: Power Amplifier (同 47 ページ参照)
- ・ BPF: Bandpass Filter (同 42 ページ参照)

【3.3】

ミキサとは，二つの入力信号の積を出力する装置である。信号周波数を変えるときに使われることが多い。具体的には 33 ページなど，本文の記述を参照のこと。

【3.4】

回路内で発生する雑音には，配線間の相互干渉により発生するものと，回路を構成する素子自体から発生するものがある。前者は電磁気学的な結合に起因するもので，配線を相互に近づけすぎないようにする，適切な遮蔽 (シールド) を設ける，などの対策が考えられる。後者は，抵抗やトランジスタ内部の電子の微視的な挙動の不規則性に起因するもので，熱雑音， $1/f$ 雑音 (フリッカー雑音)，ショット雑音，などの名前で知られている。素子構造や寸法の工夫により低雑音化を図っている。素子数削減も低雑音化に有効である。この他に，回路外部の電子機器から混入する雑音もあり，対策が必要な場合が多い。

【3.5】

44～45 ページで述べた考え方に従えば、2 次の項には二つの三角関数の積が含まれる。式(3.1)によれば、それは三角関数の和に分解でき、それぞれの周波数は元の周波数の和および差に等しい。元の周波数が通信に使われるバンドの周波数（例えば 2 GHz）だとすると、その和はおおよそ 2 倍となり、バンドの範囲を超えた高い周波数（例えば 4 GHz）になる。またその差はほぼ 0 Hz となり、これもバンド範囲外である。従って、バンドパスフィルタによりこれらの信号を除去可能で、所望波と干渉する可能性が低いため、考慮する必要がない。

これに対して、46 ページで説明したように、3 次の項に起因する周波数はバンド内に入る可能性が高く、所望波と干渉して通信に重大な影響を及ぼす可能性があり、特に配慮が必要なわけである。

○ 4 章

【4.1】

LTE ネットワークでは、3G の RNC を削減し、その機能を eNodeB と MME に分散配置している。そのため、LTE の無線アクセスネットワークが簡素化され、移動通信端末 (UE) からインターネットまで 3 階層構造 (eNodeB, SGW, PGW) となり、通信の伝送遅延・接続遅延を低減している。

【4.2】

$$\text{loss}[\text{dB}] = 10\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 20\log_{10}(d) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 20\log_{10}(d)$$

上記の式より、自由空間損失の比率を求める。

$$\begin{aligned} & \text{loss}(2.1\text{GHz})[\text{dB}] - \text{loss}(800\text{MHz})[\text{dB}] \\ &= 20\log_{10}\left(\frac{4\pi(2.1\text{GHz})}{c}\right) + 20\log_{10}(1\text{Km}) - \left\{20\log_{10}\left(\frac{4\pi(800\text{MHz})}{c}\right) + 20\log_{10}(1\text{Km})\right\} \\ &= 20\log_{10}\left(\frac{2.1\text{GHz}}{800\text{MHz}}\right) = 8.38[\text{dB}] \end{aligned}$$

これより、自由空間損失では 2.1GHz は 800MHz よりも 8.38[dB]高い。受信電力を等しくするため、送信電力では、2.1GHz は 800MHz よりも 8.38[dB]高くする必要がある。

【4.3】

広帯域信号を送信すると、遅延波の影響により波形が歪むこと、つまり周波数選択性フェージングの影響を受けやすい。周波数選択性フェージングの影響を軽減するために、シリアルパラレル変換により、複数の狭帯域信号を送信する。さらに、シンボル単位の送信を考えると、遅延波によりシンボル間干渉が生じる。これを回避するために、ガードイン

ターバルを用いる。

【4.4】

IEEE802.11ac では、1 サブキャリアで伝送できるビット数は 8 ビット、データ伝送で利用するサブキャリア数は 468 なので、これを掛け算することで、1 シンボルあたり伝送できるビット数は 3,744 ビットと求まる。符号化率が 5/6 ということは、3,744 ビットのうち 1/6 を誤り訂正符号に利用することを意味する。そのため、実際に伝送できるデータビット数は $3,744 \text{ ビット} \times 5/6 = 3,120 \text{ ビット}$ となる。また、1 シンボル長は $3.6 \mu\text{s}$ のため $3,120 / (3.6 \times 10^{-6}) = 866.7 \text{ Mbps}$ となる。さらに MIMO 空間多重数が 8 のため、 $866.7 \text{ Mbps} \times 8 = 6,933 \text{ Mbps} = 6.933 \text{ Gbps}$ となる。

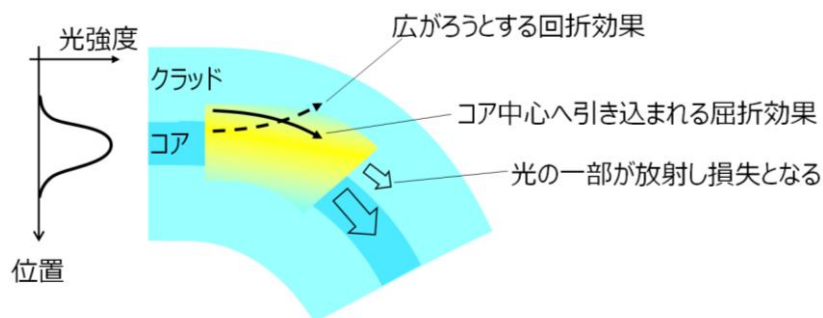
【4.5】

クラシック Bluetooth との違いは、デバイス検索に利用するチャンネルがクラシック Bluetooth では全 79 チャンネルをスキャンするために数秒程度かかることがあることに対し、BLE はアドバタイジングチャンネルの 3 チャンネルをスキャンするために検索時間を大幅に削減させることで、電力の消費を抑えている。

○ 5 章

【5.1】

図 5.7 に示すようにコアの外側にも光は存在している。例えば、図中のコアの上にある光は屈折率の高いコア中心に向かうよう右下に曲がる作用を受けるが、もし光ファイバが解図 5.1 のように小さな曲率半径で下向きに曲がっているとすると、コアが光の進路から逃げる状況となるため光がコア内部に到達しにくくなる（屈折の効果が低下する）。一方で、広がろうとする回折効果は常に存在するので、屈折によりコアの中心に向かう効果より回折によりコアから離れる効果が強くなる。その結果、光は曲がったコアに沿って伝搬せず、光の一部がコアから離れるように放射してしまうため伝搬損失が生じる。



解図 5.1 小さな曲率半径で光ファイバが曲げられている場合の光の伝搬

【5.2】

100 波長の波長分割多重により伝送速度は 100 倍になるため、総伝送速度は、 $20 \times 100 = 2,000$ Gbit/s である。1 人分の電話音声の伝送速度は、64 kbit/s であるから、 $(2,000 \times 10^9) \div (64 \times 10^3) = 31.25 \times 10^6$ 人分、すなわち光ファイバ 1 本で 3,125 万人分の音声を伝送できる。

○ 6 章

【6.1】

DHCP は自動的に IP アドレスを割り当てるプロトコルである。DHCP では、ネットワーク管理者が DHCP サーバを動作させ、ネットワークに接続したいコンピュータは DHCP サーバから IP アドレスの割り当てを受ける。IP アドレスの割り当てにはリース期限が決めるのが一般的であり、コンピュータのネットワークからの離脱に対応している。

【6.2】

Windows では、コマンドプロンプトで `ipconfig` コマンドを使って確認する。Mac や Linux 等ではターミナルで `ifconfig` コマンドを使う。

【6.3】

TCP はコンピュータ間で高信頼な通信を実現するためのプロトコルである。TCP では通信相手とスリーウェイハンドシェイクと呼ばれるやり取りをしてコネクションを確立した後に実際の通信を開始する。TCP ではデータをセグメントと呼ばれる単位に分割して送信する。もしもセグメントが通信相手に届かなかった場合は、再度送信することで信頼性の高い通信を実現する。また、ネットワークの混雑具合に応じて送信速度を変更するウィンドウ制御の機能も備えている。

【6.4】

`nslookup` コマンドは DNS サーバに「ホスト名+ドメイン名」に対応する IP アドレスを問い合わせるためのコマンドである。

【6.5】

スマートフォン用オペレーティングシステムである Android の開発や、車の自動運転技術の開発などを行っている。

【6.6】

Hulu や Netflix などの動画配信や、Uber のような配車サービス、Airbnb のような宿泊施設の貸し出しの取り組みなどが挙げられる。国内では、楽天や Yahoo! Japan などのネッ

ト企業が注目されている。

○ 7章

【7.1】

情報通信におけるプロトコルは、送受信データの形式に関する規約と、データ送受信の手順に関する規約からなる。前者は、送信データの種類や宛先に関する情報、あるいはデータ自体が、送信メッセージ全体の中のどの場所にどのように置かれているかを定めている。また、後者は、通信の開始・終了の手順やデータの送信の順序、受信時の手順、通信エラーやパケット消失への対処方法などを定めている。

従って、同一のプロトコルに従って情報通信を行うことによって、パソコンとスマートフォンとの間のようにメーカーや機能が異なる通信機器間であっても、スムーズなデータ通信が可能となる。

【7.2】

【役割】：プロトコルを階層化することによって、プロトコル各層は他層のプロトコルの詳細を知ることなしに各層のタスクを実行できるようになる。また、隣接する層間のインタフェースに変更がなければ、各層のプロトコルの実装などを変更しても他の層はその影響を受けずに済む。

【意義】：一般に、階層化されたプロトコルでは、各層の受け持つ機能が他層と独立で重複の無いように設計される。これにより、アプリケーションや通信機器の開発者は、それらが動作する層のプロトコル自体と、隣接する上位および下位層のプロトコルとのインタフェースのみに留意して開発を行うことができる。

また、技術の進歩に伴って、ある層のプロトコルをより高性能なものに変更しても、他の層への影響を最小限にとどめることができる。その結果、新たなネットワーク技術を容易に導入でき、拡張性・発展性のあるネットワークが実現できる。

【7.3】

インターネットにおけるパケットエラーを補償するために、トランスポート層のプロトコルである TCP に従って通信を行う。TCP では、以下に述べるように、パケットの消失や誤りの生起を検出する仕組みとパケットの再送とを組み合わせることによって通信の信頼性を高めている。

《パケットの消失や誤りの生起を検出する仕組み》

TCP では、シーケンス番号とチェックサムの二つの情報を送信側でヘッダに埋め込むことによって、パケットの消失や誤りを検出している。

受信側では、時間的に前後して到着した受信パケットをシーケンス番号に基づいて整列し直す。このとき、シーケンス番号の抜けから消失パケットを割り出すことが可能となる。

また、送信側で埋め込んだチェックサムと、受信パケット内のデータから計算したチェックサムとを比較し、これらが異なる場合には受信データが誤りを含んでいることを検出することができる。

《パケットの再送》

TCP によるデータの送受信では、パケットが正しく受信されたとき、すなわち、受信側においてパケットの消失や誤りの生起が検出されなかったときに限って、受信側から送信側に対して確認応答と呼ばれるパケットを返送する。送信側は、受信側からの確認応答パケットが一定時間内に返送されなかった場合に、パケットの消失やエラーが発生したものと判断して、該当パケットを改めて送信する。

【7.4】

【誤り訂正符号の役割】：データのエラーや消失が頻発する劣悪な通信回線を用いたネットワークにおいて TCP を用いると、確認応答のタイムアウトやパケット再送が頻発し、通信の効率が著しく低下する。また、確認応答が送信側に正しく届く確率自体も低下する。このように、低品質回線を利用したネットワークにおいては、TCP のようなパケットの再送によるパケットエラーの回復は効率のよい誤り制御方式とはいえない。

そこで、送信ビットに冗長ビットを付加（符号化）して送信し、通信回線におけるデータのエラーや消失を受信ビット列から代数的な演算によって復元する誤り訂正符号が用いられる。誤り訂正符号の利用により通信回線の品質向上が見込まれ、TCP のようなパケットの再送による誤り制御方式の効率を高めることができる。

【インターネットにおけるパケットエラーの補償(TCP)と誤り訂正符号の違い】：

TCP はトランスポート層のプロトコルであり、通信を行うアプリケーション間でのデータ伝送の信頼性を高めるために用いられる。一方、誤り訂正符号は、より下位のネットワークインタフェース層のプロトコルであり、イーサネットや無線 LAN などにより構成された同一のネットワークにおいて、ネットワーク機器間の通信の信頼性を高めるために用いられる。

【7.5】

秘密鍵暗号を用いた通信を実現するためには、通信に先立ち、情報の送信者と受信者の間で暗号化鍵を安全に共有しておく必要がある。このため、遠隔地間で暗号化鍵を共有する際には、鍵の配送に要する時間的なロスや配送コストが発生するという問題がある。

また、多くのユーザが参加するネットワークでは、ユーザのペアごとに異なる暗号化鍵を用意する必要があるため、膨大な量の暗号化鍵を管理しなければならないという問題もある。

【7.6】

公開鍵暗号は秘密鍵暗号に比べ、一般に暗号化・復号化の計算量が多い。このため、通信システムに公開鍵暗号をそのまま組み込むと、高速な通信を阻害する恐れがある。そこで、暗号化通信に先立って公開鍵暗号を用いて秘密鍵暗号の暗号化鍵を共有しておき、メッセージ本体は共有した暗号化鍵による秘密鍵暗号で送信することが考えられる。これがハイブリッド暗号化システムである。

【7.7】

敵は、公開鍵暗号を用いて通信を行う送信者と受信者の間に入り、送信者に対しては受信者のように、また受信者に対しては送信者のように振る舞うことによって、公開鍵暗号の機密性を破ることに成功する。これが中間者攻撃である。

具体的には、敵はメッセージの受信者ボブに成りすまし、メッセージの送信者アリスに敵自身の公開鍵をボブの公開鍵と偽って送信する。アリスは敵から送られてきた鍵をボブの公開鍵であると信じて暗号化を行うため、敵は自身の秘密鍵を用いて暗号文を容易に復号することができる。この結果、アリスがボブに送信したメッセージの内容が敵に漏れてしまう。さらには、敵によるメッセージの改ざんも許してしまう。

【7.8】

中間者攻撃では、敵が公開鍵暗号における公開鍵の所有者に成りすまることが問題となる。そこで、公開鍵にデジタル署名を添付して公開鍵所有者のなりすましを防ぐ。ここで、デジタル署名の検証にも署名検証用の公開鍵が必要であることから、公開鍵暗号の鍵生成者は、自らの公開鍵 K_p に対するデジタル署名 S の作成を認証局に依頼し、 K_p に S を添付した証明書を公開する。

暗号化通信を行うために公開鍵 K_p を必要とする送信者は、 K_p に添付されたデジタル署名 S を認証局の公開鍵で検証し、正しい署名であること、すなわち、 K_p の改ざんや所有者のなりすましが行われていないことを確認してから、 K_p を用いて暗号化通信を行う。このようにして中間者攻撃を防ぐ。

○ 8章

【8.1】 6

【8.2】

- (A) 計量関係業務など
- (B) 遠隔開閉機能
- (C) ホームエネルギーマネジメント機能
- (D) 小売事業

(E) ピーク時間帯

【8.3】

温度 T の黒体放射輝度 $B_{\lambda}(T)$ は、対象からの放射輝度の観測値 L_{λ} に対し、放射率 ϵ_{λ} を用いて式(8.3)により補正を施して求められる。例えば、誤差を相対誤差(誤差/真値 $\times 100\%$)で評価すると

$$\text{金属の場合} : (L_{\lambda} - (L_{\lambda}/0)) / (L_{\lambda}/0) \times 100\% = -100\%$$

$$(L_{\lambda} - (L_{\lambda}/0.02)) / (L_{\lambda}/0.02) \times 100\% = -98\%$$

より、 $-100\% \sim -98\%$ 。

同様にして

水の場合：滑らか $-73\% \sim$ 泡 -2% 。

乾燥土壌の場合：滑らか $-50\% \sim$ 粗い -5% 。

雪の場合：乾雪 $-45\% \sim$ 湿雪 -5% 。

海水の場合： $-30\% \sim -2\%$ 。

植物の場合： $-15\% \sim -5\%$ 。

以上