



专题：移动通信（5G）测试

5G NR 的小区搜索改进算法

董宝江, 彭琛, 卢贺

(大唐联仪科技有限公司, 北京 100083)

摘要: 5G NR 时代对速率、容量和用户体验都有更高的要求。在 5G NR 物理层中, 小区搜索是不可或缺的过程。小区搜索主要包括主同步信号(primary synchronization signal, PSS)检测算法以及辅同步信号(secondary synchronization signal, SSS)检测算法。传统 PSS 检测算法和 SSS 检测算法已无法满足 5G NR 各项指标的基本需求。为了解决这一问题, 在传统 M 分段互相关检测算法基础上提出了改进 PSS 检测算法。当信道环境恶劣时, 传统 SSS 检测算法也将失效, 提出的改进 SSS 检测算法可以解决此问题。最后, 对传统算法和改进算法进行仿真对比分析。仿真结果表明, 改进算法的检测性能明显提升, 检测效率和整体性能也提高了。

关键词: 小区搜索; PSS 检测算法; SSS 检测算法

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021036

Improved cell search algorithm for 5G NR

DONG Baojiang, PENG Chen, LU He

DT Link Tester Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract: The era of 5G NR has higher requirements for speed, capacity and user experience. In 5G NR physical layer, cell search is an indispensable process. Cell search mainly includes primary synchronization signal (PSS) detection algorithm and secondary synchronization signal (SSS) detection algorithm. The traditional PSS detection algorithm and SSS detection algorithm can't satisfy the basic requirements of 5G NR. In order to solve this problem, an improved PSS detection algorithm based on the traditional M -segment cross-correlation detection algorithm was proposed. When the channel environment is bad, the traditional SSS detection algorithm will also fail. The improved SSS detection algorithm proposed can solve this problem. Finally, the traditional algorithm and the improved algorithm were compared and analyzed. The simulation results show that the detection performance of the proposed algorithm is significantly improved, and the detection efficiency and overall performance are also improved.

Key words: cell search, PSS detection algorithm, SSS detection algorithm

1 引言

5G 移动通信技术^[1], 是为了满足未来移动通

信的需求, 推出的新一代无线通信技术。与 4G 相比, 它对系统性能提出了更高要求。其中, 传输速率提高 10~100 倍, 用户体验速率达到 0.1~1 Gbit/s,

用户峰值速率可达 10 Gbit/s；时延降低为 1/10~1/5，达到毫秒量级；移动性达到 500 km/h 以上，实现高铁高速运行环境下的良好用户体验。由 ITU-R 确定，通信行业认可的 5G 三大主要应用场景^[2-3]分别为：增强移动宽带（eMBB）、低时延高可靠通信（uRLLC）和大规模物联网（mMTC）。如果说 4G 标志着业务由个人通信向个人应用的跨越，那么 5G 的诞生将是通信行业历史上最大的变革，从“小我”走向“大我”——从个人应用向行业应用的转变。

本文小区搜索算法应用在 5G NR（new radio）扫频仪中，扫频仪进行无线网络覆盖测试时，主要通过扫频装置进行小区搜索，检测到空间的多个基站射频信号，并对相关指标进行测量。比如，在 4G LTE 网络优化时，需要通过主同步信号（primary synchronization signal, PSS）和辅同步信号（secondary synchronization signal, SSS）对空口小区进行搜索，并对检测到的各个小区的 CRS（cell-specific reference signal）进行测量，测量参数主要有 RSRP（reference signal received power）、SINR（signal to interference-plus-noise ratio）^[4]等。只有完成初始小区搜索，终端才可以给出准确的解调下行数据，获取关键系统信息，实现与基站的通信连接。

在小区搜索中，比较关键的步骤就是 PSS 检测以及 SSS 检测。对于 PSS 检测，参考文献[5]中给出一种直接互相关检测算法，但在大频偏环境下该算法将会失效。参考文献[6]中论述了一种 M 分段互相关检测算法，其可以提升抗频偏能力，但会引入噪声干扰。对于 SSS 检测，参考文献[7]中简述了一种 SSS 相干检测算法，原理是利用 PSS 检测后的信道响应值等效 SSS 处的信道响应值，然后对频域 SSS 序列进行补偿，最后再与本地 SSS 序列进行频域互相关检测。但该算法没有考虑信道环境的影响，若信道质量特别差导致频域信道响应值误差很大，会造

成最终检测失败。

为了满足当下 5G NR 扫频仪的各项指标要求，本文提出了一种小区搜索改进算法，通过改进传统的 PSS 检测算法和 SSS 检测算法，完成 5G NR 小区搜索。仿真结果显示，所提算法不仅提高了检测效率，而且也提高了整体小区搜索性能。

2 小区搜索过程

小区搜索就是 UE 和小区取得时间和频率上的同步，并检测 cell ID 的过程^[8-9]。

（1）UE 利用 PSS 和 SSS 完成下行同步^[10]过程。通过 PSS 获取物理层小区组内 ID 和时隙同步；通过 SSS 获取循环前缀（cyclic prefix, CP）长度，物理层小区组 ID，帧同步。

（2）通过解调参考信号（demodulation reference signal, DM-RS）进一步实现时间、频率同步以及信道估计。

（3）解码物理广播信道（physical broadcasting channel, PBCH），获得主信息块（master information block, MIB），包含公共天线端口数目、系统帧号（system frame number, SFN）、下行系统带宽等信息。

（4）解码物理下行共享信道（physical downlink shared channel, PDSCH），获得系统信息块（system information block, SIB），即其他系统信息^[11]。

5G NR 小区搜索主要是检测 PSS、SSS 和 DM-RS，获取时间和频率上的同步，上报 RSRP/SINR 等测量指标，最后解码 PBCH 完成小区搜索过程。初始小区搜索流程如图 1 所示。

3 PSS 检测

在 5G NR 小区搜索中，PSS 检测^[5]作为下行同步的关键步骤，必须设计性能优良的检测算法。PSS 定时同步是通过对接收信号的 PSS 检测，完成符号定时同步并获取小区 ID 组内编号 $N_{ID}^{(2)}$ 。

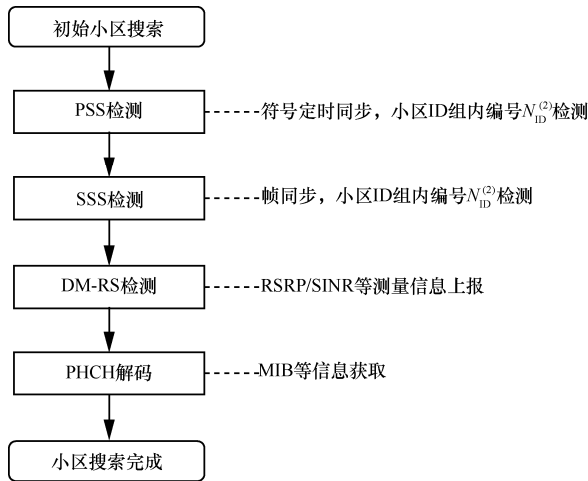


图1 初始小区搜索流程

3.1 传统 PSS 检测算法

基于 PSS 序列良好的自相关性与互相关性，传统的 PSS 检测算法^[6]主要为直接互相关检测算法和 M 分段互相关检测算法^[12]。

第一种方法：直接互相关。

该方法的核心思想是利用 PSS 接收序列 $y(n)$ 直接与本地 3 个 PSS 序列 $r_{\text{pss}}^0(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^1(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^2(n)$ 分别进行滑动相关，相关检测得到的 3 个相关值序列如式（1）所示。

$$\begin{aligned}
 \text{Corr}_0(m) &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} y(n+m) \cdot r_{\text{pss}}^0(n)^* \right|^2 \\
 \text{Corr}_1(m) &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} y(n+m) \cdot r_{\text{pss}}^1(n)^* \right|^2 \\
 \text{Corr}_2(m) &= \left| \sum_{n=0}^{N-1} y(n+m) \cdot r_{\text{pss}}^2(n)^* \right|^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

其中， $\text{Corr}_0(m)$ 、 $\text{Corr}_1(m)$ 、 $\text{Corr}_2(m)$ 分别表示 3 个相关值序列， $y(n+m)$ 表示接收序列， $r_{\text{pss}}^0(n)^*$ 、 $r_{\text{pss}}^1(n)^*$ 、 $r_{\text{pss}}^2(n)^*$ 分别表示 3 个本地 PSS 序列 $r_{\text{pss}}^0(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^1(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^2(n)$ 的共轭运算， N 为快速傅立叶变换（fast Fourier transform, FFT）点数。

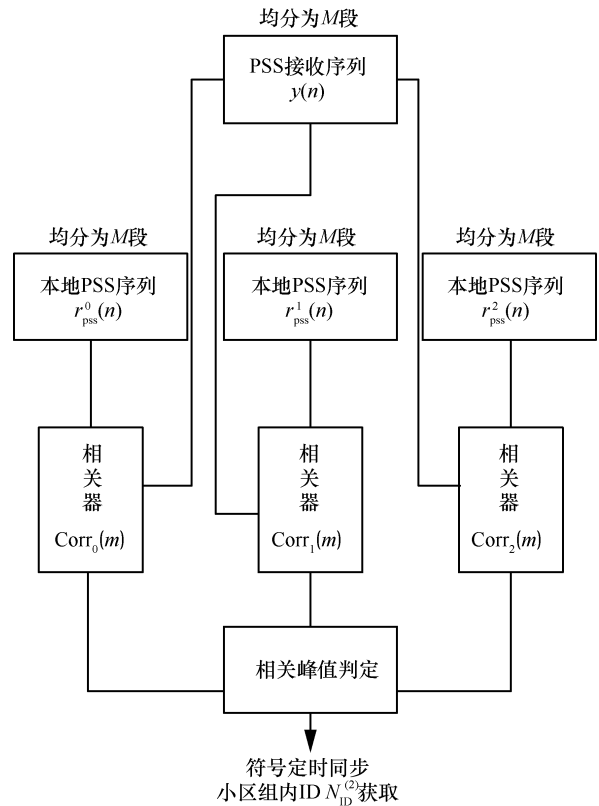
通过相关运算得到 3 个相关值序列 $\text{Corr}_0(m)$ 、 $\text{Corr}_1(m)$ 、 $\text{Corr}_2(m)$ 并分别找出 3 个序列中的最大值，然后比较 3 个最大值得到最终最大值。此

时便得知正确的 PSS 序列即最终最大值相对的 PSS 序列。同时，获得小区组内 ID $N_{\text{ID}}^{(2)}$ ，最终最大值对应的位置也就是定时同步的位置，记为 $\hat{m}$ 。

直接互相关检测算法虽然简单易实现，但是在面对较大频偏时，本地序列与接收序列相关性会变差，导致相关峰值点不明显，甚至完全被淹没，最后造成 PSS 检测失败，影响系统性能。为了应对此种情况，下文给出一种 M 分段互相关检测算法。

第二种方法： M 分段互相关。

此法的重点在于将 PSS 接收序列和本地 PSS 序列分别等分为 M 段序列再进行相关，之后再把 M 个相关值序列逐个相加求和，进而确定相关峰值对应同步位置。具体的实现原理流程如图 2 所示。

图2 PSS M 分段互相关检测流程

按照图 2 流程，首先将 PSS 接收序列 $y(n)$ 与 3 个本地 PSS 序列 $r_{\text{pss}}^0(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^1(n)$ 、 $r_{\text{pss}}^2(n)$ 分别等

分为 M 段, 然后对 M 段序列分别进行相关, 最后分别累加求和得到 3 个相关值序列。相关检测得到的 3 个相关值序列如式 (2) 所示。

$$\begin{aligned} \text{Corr}_0(m) &= \sum_{s=0}^{M-1} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} y\left(n+m+s \times \frac{N}{M}\right) \cdot r_{\text{pss}}^0\left(n+s \times \frac{N}{M}\right)^* \right\}^2 \\ \text{Corr}_1(m) &= \sum_{s=0}^{M-1} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} y\left(n+m+s \times \frac{N}{M}\right) \cdot r_{\text{pss}}^1\left(n+s \times \frac{N}{M}\right)^* \right\}^2 \\ \text{Corr}_2(m) &= \sum_{s=0}^{M-1} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} y\left(n+m+s \times \frac{N}{M}\right) \cdot r_{\text{pss}}^2\left(n+s \times \frac{N}{M}\right)^* \right\}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

通过 M 分段互相关检测算法之后, 步骤同直接互相关检测算法相同。通过相关运算得到 3 个相关值序列 $\text{Corr}_0(m)$ 、 $\text{Corr}_1(m)$ 、 $\text{Corr}_2(m)$ 并分别找出 3 个序列中的最大值, 然后比较 3 个最大值得到最终最大值。此时便得知正确的 PSS 序列即为最终最大值对应的 PSS 序列, 同时获取 $N_{\text{ID}}^{(2)}$ 和定时同步位置 $\hat{m}$ 。

M 分段互相关检测算法中, M 越大, 抵抗频偏能力越强, 累加的模平方越大, 相关峰值越突出。但是由于分段数过多, 会导致峰值点周边的相关数据减大幅度变小, 同时会产生更多的噪声, 所以找到合适的方法对于提升系统性能至关重要。

3.2 改进 PSS 检测算法

为了能够找出合适的 PSS 检测算法, 本文在 M 分段互相关检测算法基础上做了部分改进, 提升了整体效率。整个 PSS 检测过程重点分为 3 步: 频域相关、分段滑动和 PMR 门限判定。

假设接收信号 $y(n)_{\text{pss}}$ 的长度为 L , FFT/IFFT 运算的点数为 N , 滑动窗口大小为 w , 则可以把接收信号分为 M 段, 如式 (3) 所示。

$$M = \left\lceil \frac{L}{N-w} \right\rceil \quad (3)$$

其中, $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整运算。第 m 段 PSS 接收与第 i 个本地 PSS 信号的相关性 $r_{m,\text{pss}}^i$ 可表示为式 (4)。

$$r_{m,\text{pss}}^i = \left\{ \text{IFFT} \left(\frac{\text{FFT}(y(n)_{m,\text{pss}})}{\sqrt{N}} \cdot r_{i,\text{pss}}^* \right) \right\} \sqrt{N} \quad (4)$$

其中, $r_{i,\text{pss}}^*$ 表示本地 PSS 序列的共轭, $y(n)_{m,\text{pss}}$ 表示第 m 段接收信号。

$$\text{PMR}_{\text{pss}} = \frac{\max \left(\left| r_{m,\text{pss}}^i(l) \right|^2 \right)}{\text{mean} \left(\left| r_{m,\text{pss}}^i(n) \right|^2 \right)} \quad (5)$$

其中, $\max \left(\left| r_{m,\text{pss}}^i(l) \right|^2 \right)$ 表示前 l 个有效相关值中的最大功率值, $\text{mean} \left(\left| r_{m,\text{pss}}^i(n) \right|^2 \right)$ 则表示总共 N 点的平均功率值。PMR_{pss} 表示峰均比。

$$[\hat{i}, \hat{m}] = \arg \max_{i \in [0,2], m \in [1,M]} (\text{PMR}_{\text{pss}}) \quad (6)$$

经过式 (6) 则求得 i 对应的小区组内 ID $N_{\text{ID}}^{(2)}$, m 即对应的最佳分段数。将 PMR_{pss} 值与门限值进行比较, 若不小于门限值则认为 PSS 检测成功。最后经定位处理可以高效率地获得 PSS 同步起始位置和相关信息, 完成 PSS 检测。

4 SSS 检测

经过 PSS 检测之后, 只是获得了小区组内编号 $N_{\text{ID}}^{(2)}$, 想要进一步确定物理小区标识 (PCI) 则需要进一步进行 SSS 检测获得小区组号 $N_{\text{ID}}^{(1)}$, 之后将 $N_{\text{ID}}^{(2)}$ 和 $N_{\text{ID}}^{(1)}$ 组合进而确定 $N_{\text{ID}}^{(\text{cell})}$, $N_{\text{ID}}^{(\text{cell})} = 3N_{\text{ID}}^{(1)} + N_{\text{ID}}^{(2)}$ 。

4.1 传统 SSS 检测算法

根据 PSS 序列和 SSS 序列的时域结构及时频域映射方式可知, 它们在时域上相差一个 OFDM 符号, 在频域上处于相同子载波位置。根据此结构可以利用 PSS 检测之后的信道响应去等效 SSS 处的信道响应^[7], 然后对频域 SSS 序列进行补偿。



PSS 信道估计结果如式（7）所示。

$$H_{\text{pss}}(k) = \frac{Y_{\text{pss}}(k)}{R_{\text{pss}}(k)} \quad (7)$$

其中， $Y_{\text{pss}}(k)$ 表示接收频域 PSS 序列， $R_{\text{pss}}(k)$ 表示本地频域 PSS 序列。

$$Y'_{\text{sss}}(k) = \frac{Y_{\text{sss}}(k)}{H_{\text{pss}}(k)} \quad (8)$$

其中， $Y_{\text{sss}}(k)$ 表示接收频域 SSS 序列， $H_{\text{pss}}(k)$ 表示频域信道响应值，则 $Y'_{\text{sss}}(k)$ 为信道均衡后的频域 SSS 序列。之后将 $Y'_{\text{sss}}(k)$ 与本地 SSS 序列进行频域互相关，如式（9）所示。

$$M(i) = \sum_{k=0}^{126} Y'_{\text{sss}}(k) R_{i,\text{sss}}^*(k) \quad (9)$$

其中， $M(i)$ 表示最后的相关值序列，其中 $i = 0, 1, 2, \dots, 335$ 。

最后通过寻找相关值序列中的最大值对应的 i 即小区组号 $N_{\text{ID}}^{(1)}$ ，如式（10）所示。

$$N_{\text{ID}}^{(1)} = \arg \max_{i=0,1,2,\dots,335} (|M(i)|^2) \quad (10)$$

综合以上步骤，获得 $N_{\text{ID}}^{(1)}$ 完成 SSS 检测。

4.2 改进 SSS 检测算法

由于传统 SSS 检测算法是基于 PSS 检测之后的频域信道响应值进行的。此算法没有考虑信道环境的影响，如若信道质量特别差导致频域信道响应值误差很大，会对 SSS 检测造成很严重的破坏。鉴于此，本文从 SSS 序列自身出发去优化 SSS 检测算法。频域 SSS 序列具有较好的自相关性和互相关性，在频域进行相关检测，具体实现步骤如下所示。

（1）首先生成本地频域 SSS 序列 $r_{i,\text{sss}}$ 。由于 $N_{\text{ID}}^{(1)}$ 取值范围为 $0, 1, \dots, 335$ ， $N_{\text{ID}}^{(2)}$ 取值范围为 $0, 1, 2$ ，则本地频域 SSS 序列 $r_{i,\text{sss}}$ 共有 $336 \times 3 = 1008$ 种可能。

（2）获取接收频域 SSS 序列 $y(n)_{\text{sss}}$ 。根据 PSS 同步位置，找到 10 ms 内其所在 SSB 内的 SSS

时域起始位置，再将 SSS 时域数据变换到频域，提取出对应的 127 个 RE 的值，记为 $y(n)_{\text{sss}}$ 。

（3）将每一个本地频域 SSS 序列 $r_{i,\text{sss}}$ 与接收频域 SSS 序列 $y(n)_{\text{sss}}$ 依次做相关运算，最终得到 1008 个相关值 $r_{m,\text{sss}}^i$ ，如式（11）所示。

$$r_{\text{sss}}^i = \left| \sum_{n=0}^{126} \text{IFFT}(y(n)_{\text{sss}} \cdot r_{i,\text{sss}}^*) \right| \quad (11)$$

其中， $r_{i,\text{sss}}^*$ 表示本地 SSS 序列的共轭， $y(n)_{\text{sss}}$ 表示接收 SSS 序列。

（4）最后求取每个相关值的峰均比 PMR_{sss} ，若其大于 SSS 检测门限，则说明小区检测成功。并可得到该小区的 PCI，完成 SSS 检测。

5 仿真结果与分析

本次仿真主要针对 PSS 检测算法和 SSS 检测算法进行。其中，PSS 检测算法包括直接互相关检测算法、 M 分段互相关检测算法和改进 PSS 检测算法。SSS 检测算法包括传统 SSS 检测算法和改进 SSS 检测算法。仿真利用 MATLAB 软件搭建下行小区搜索及同步链路，整个仿真基于 AWGN 信道进行，仿真结果为循环 500 次平均后的结果。小区搜索仿真参数见表 1。

表 1 小区搜索仿真参数

系统参数	参数配置
载波频率	3.4 GHz
系统带宽	100 MHz
子载波间隔	30 kHz
FFT 点数	256
CP 类型	常规型
小区 ID	0、1、2
信道模型	AWGN

直接互相关检测算法的 PSS 检测成功概率如图 3 所示，在信噪比较低为 -15 dB 时，直接互相关检测算法的 PSS 检测成功概率仅为 10%，而改进 PSS 检测算法已经有 50% 的检测成功概率。随

着信噪比不断提高,当信噪比达到 -3 dB时,直接互相关检测算法检测成功概率为83%,而改进PSS检测算法已经达到100%检测成功概率。

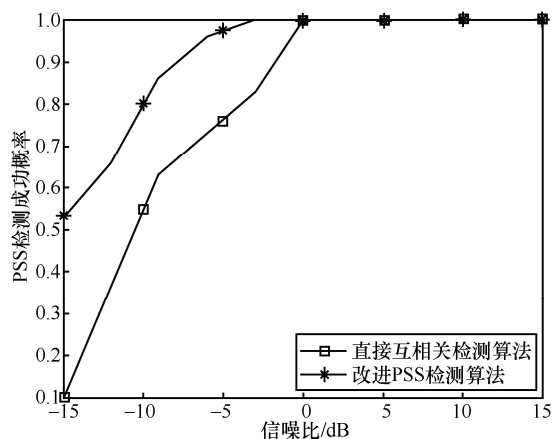


图3 直接互相关检测算法的PSS检测成功概率

M 分段互相关检测算法的PSS检测成功概率如图4所示,在信噪比较低为 -15 dB时, M 分段互相关检测算法的PSS检测成功概率仅为33%,而改进PSS检测算法已经有50%的检测成功概率。随着信噪比不断提高,当信噪比达到 -3 dB时, M 分段互相关检测算法的检测成功概率为90%,而改进PSS检测算法已达到100%检测成功概率。

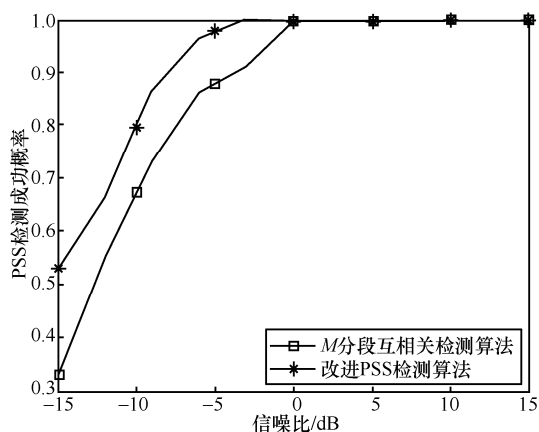


图4 M 分段互相关检测算法的PSS检测成功概率

传统SSS检测算法和本文改进的SSS检测成功概率对比如图5所示,当信噪比为 -15 dB时,传统SSS检测算法完全检测不出小区组号 $N_{ID}^{(1)}$,但改进SSS检测算法有15%的检测成功率。随着

信噪比不断增加,SSS检测成功率都在不断提升。当信噪比达到 -6 dB时,改进SSS检测算法就能100%检测出小区组号 $N_{ID}^{(1)}$ 了,而此时传统SSS检测算法只有约86%的检测成功率。等到信噪比大于或等于0 dB以后,传统SSS检测算法才能100%检测成功。整体情况说明,改进SSS检测算法较传统SSS检测算法而言,检测性能提升了6 dB,且检测效率得到了大大提升。

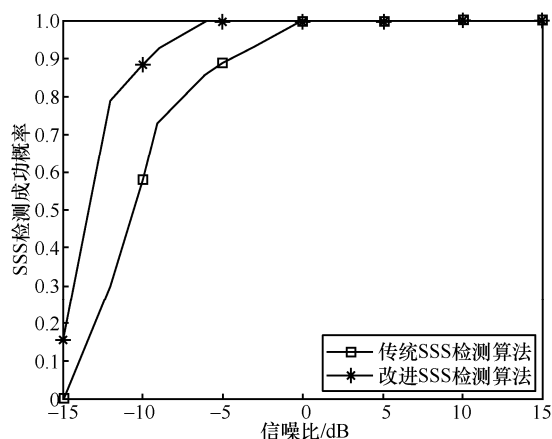


图5 传统SSS检测算法和本文改进的SSS检测成功概率对比

为了验证改进算法相比传统算法在资源消耗和时间消耗等方面的优越性,本文从算法复杂度着手依次对算法中涉及的复数乘法、复数加法、实数乘法、实数加法和 N 点FFT/IFFT等运算次数进行了统计分析。改进算法与传统算法复杂度分析对比结果见表2。

由表2可知,改进后的PSS检测算法中复数乘法、复数加法和 N 点FFT运算次数大约相当于传统PSS检测算法的25%,大大降低了算法复杂度。在PSS检测算法中不涉及实数乘法和实数加法运算。改进后的SSS检测算法中复数乘法、复数加法、实数乘法、实数加法和 N 点FFT运算次数都约占传统SSS检测算法的1/4。综上所述,改进后的PSS检测算法和SSS检测算法与传统检测算法相比,运算量大大降低,不仅提高了检测效率,而且在整套5G NR小区搜索和同频检测算法中发挥了重要作用。



表2 算法复杂度分析

算法名称	复数乘法	复数加法	实数乘法	实数加法	N 点 FFT 次数
传统 PSS 检测	921 854	460 936	0	0	21 603
改进 PSS 检测	230 463	115 234	0	0	5 403
传统 SSS 检测	1 524	544	171 200	170 688	16
改进 SSS 检测	381	136	42 800	42 672	4

6 结束语

5G NR 小区搜索是移动通信中不可或缺的步骤，不管是在通信链路建立前，还是在通信中途切换小区都需要经过完善的小区搜索流程。本文在传统 PSS 检测算法和传统 SSS 检测算法基础上提出改进的 PSS 检测算法以及改进的 SSS 检测算法，改进算法不仅提高了信号检测效率，而且检测性能也得到明显提升。基于此改进小区搜索算法的 5G NR 扫频仪在外场测试及实际无线网络覆盖测试时各项指标均能达标，能很好地满足用户需求。

参考文献：

- [1] 卓业映, 陈建民, 王锐. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国新通信, 2015, 8(23): 13-14.
ZHUO Y Y, CHEN J M, WANG R. 5G mobile communication development trend and some key technologies[J]. China New Telecommunication, 2015, 8(23): 13-14.
- [2] 刘斯. 5G 移动通信发展分析及其关键技术应用分析[J]. 数字通信世界, 2019(3): 116-117.
LIU S. Analysis of 5G mobile communication development and application of key technologies[J]. Digital Communication World, 2019(3): 116-117.
- [3] 彭文君, 皮雅婧. 5G 通信技术应用场景及关键技术[J]. 通信电源技术, 2019(10): 182-183.
PENG W J, PI Y J. Application scenarios and key technologies of 5G communication technology[J]. Telecom Power Technology, 2019(10): 182-183.
- [4] ERIK D, STEFAN P, JOHAN S. 5G NR: the next generation wireless access Technology[M]. United States: Academic Press, 2018.
- [5] 张德民, 李秀, 陈嘉田. 5G 系统中主同步信号定时同步算法的研究[J]. 光通信研究, 2019(3): 59-64.
ZHANG D M, LI X, CHEN J T. Research on timing synchronization algorithm of primary synchronization signal in 5G system[J]. Study on Optical Communications, 2019(3): 59-64.
- [6] 白兴金. TD-LTE 小区搜索和下行同步技术的研究及实现[D].

成都: 电子科技大学, 2017.

BAI X J. Research and implementation of cell search and downlink synchronization technology in TD-LTE[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.

- [7] 林丹丹. 5G 中上下行同步技术的研究与仿真[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
LIN D D. Research and simulation on uplink and downlink synchronization technology in 5G[D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [8] 3GPP. NR: physical channels and modulation: TS38. 211-V15. 10. 0-2020[S]. 2020.
- [9] 3GPP. NR: physical layer procedures for control: TS38. 213-V15. 10. 0-2020[S]. 2020.
- [10] 张建国, 黄正彬, 周鹏云. 5G NR 下行同步过程研究[J]. 邮电设计技术, 2019(3): 22-26.
ZHANG J G, HUANG Z B, ZHOU P Y. Research on downlink synchronization process of 5G NR[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(3): 22-26.
- [11] 3GPP. NR: physical layer measurements: TS38. 215-V15. 10. 0-2020[S]. 2020.
- [12] 徐莹. TD-LTE 下行小区搜索算法研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
XU Y. Research and implementation of downlink cell search algorithm in TD-LTE[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.

[作者简介]



董宝江（1994—），男，大唐联仪科技有限公司工程师，主要研究方向为无线移动通信技术。

彭琛（1986—），男，大唐联仪科技有限公司工程师，主要研究方向为无线移动通信技术。

卢贺（1989—），男，大唐联仪科技有限公司工程师，主要研究方向为无线移动通信技术。